

PROPOSIÇÃO DE CENÁRIO DE REUSO DE  
ÁGUAS AMARELAS EM UM ASSENTAMENTO  
RURAL DE SANTA CATARINA

Rafael de Sousa Carrasco

Florianópolis, 2018

Rafael de Sousa Carrasco

**PROPOSIÇÃO DE CENÁRIO DE REUSO DE ÁGUAS  
AMARELAS EM UM ASSENTAMENTO RURAL DE SANTA  
CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora como parte dos requisitos para conclusão do Programa de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elisa Magri

Florianópolis, SC  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

de Sousa Carrasco, Rafael  
Proposição de Cenário de Reuso de Águas Amarelas  
em um Assentamento Rural de Santa Catarina / Rafael  
de Sousa Carrasco ; orientadora, Maria Elisa Magri,  
2018.  
85 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

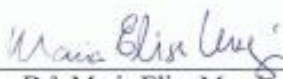
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2.  
Saneamento ecológico. 3. Reuso de urina humana. 4.  
Crise alimentar. I. Magri, Maria Elisa. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Rafael de Sousa Carrasco

**PROPOSIÇÃO DE CENÁRIO DE REUSO DE ÁGUAS  
AMARELAS EM UM ASSENTAMENTO RURAL DE SANTA  
CATARINA**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 02 de Julho de 2018.



Dr<sup>a</sup>. Maria Elisa Magri  
Orientadora

**Banca Examinadora**



Eng<sup>a</sup>. Vanessa da Cunha Rocha



Dr<sup>a</sup>. Raquel Cardoso de Souza

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao universo e à vida por todos fortúnios e adversidades que me são concedidos diariamente e contribuem no meu desenvolvimento pessoal e espiritual ao longo da caminhada.

Gratidão profunda à minha querida família, à minha mãe Cristina, ao meu pai Eduardo, à minha irmã Tamiris, por todo apoio, compreensão, carinho e amor incondicional que sempre recebi.

Gratidão imensa à minha orientadora, Maria Elisa Magri, pelo conhecimento compartilhado e por toda disposição, alegria e apoio com os quais me orientou.

Agradeço em especial aos meus amigos e colegas de faculdade, por todos os momentos compartilhados.

## RESUMO

Na busca dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, faz-se imprescindível uma mudança de paradigma na forma em que as excretas humanas são compreendidas e geridas pelos sistemas de saneamento convencionais. De tal modo, propõe-se o saneamento ecológico como ferramenta essencial nesta busca, cuja premissa básica refere-se à segregação, tratamento e recuperação dos nutrientes das excretas humanas, visando o estabelecimento de um fluxo cíclico sustentável de nutrientes entre o homem e o meio ambiente. Tendo em vista a maior facilidade de implantação de sistemas de saneamento ecológico em localidades rurais não consolidadas, que dependem de alternativas individuais de tratamento de esgotos domésticos, define-se como área de estudo da presente pesquisa o Assentamento Rural Papuan II, localizado no município de Abelardo Luz. Assim, objetiva-se a definição de um cenário de reuso de águas amarelas, de modo que toda urina gerada em cada propriedade familiar do Assentamento Rural Papuan II seja coletada por vasos separadores de excretas, tratada pelo processo de estocagem e reutilizada nas culturas agrícolas locais. A partir do cenário proposto, cada propriedade familiar é capaz de produzir 1098 litros de biofertilizante por semestre, suficientes para cultivar hortas de até 360 m<sup>2</sup> de trigo, milho e batata, com produções alimentares anuais de 67 kg, 200,8 kg e 330 kg, respectivamente. Estima-se ainda que o assentamento inteiro é capaz de produzir 30,5 toneladas de alimentos (trigo, milho e batata) por ano, suficientes para alimentar 1.365 pessoas, evidenciando o potencial da urina na atuação como uma ferramenta no combate à insegurança alimentar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Crise alimentar, saneamento ecológico, águas amarelas, biofertilizante.

## **ABSTRACT**

In order to reach the UN Sustainable Development Goals for reducing the number of people starving and without adequate sanitation, new holistic concepts are needed as alternatives to conventional sanitation, with focus on establishing a sustainable closed-loop of nutrients between mankind and environment. Therefore, a shift of paradigm on the way human excrete are perceived and comprehended is mandatory. By means of ecological sanitation, nutrient recycling from human excrete is feasible in rural areas where costs of handling and transport can be minimized and the products easily applied as crops fertilisers. The present study sought to address local starvation by defining a scenario of reuse of human urine in Papuan II, a rural settlement located in Abelardo Luz, in the state of Santa Catarina, Brazil. Through the proposed scenario, each rural property is able to produce 1098 liters of fertilizer (treated urine) per semestre, enough to fertilize up to 360 m<sup>2</sup> of wheat, maize and potatoes crops, with estimated anual food production of 67 kg, 200.8 kg and 330 kg, respectively. Additionally, it is estimated that the entire rural settlement can produce annually 30.5 tons of wheat, maize and potatoes, enough to feed around 1365 people, per year.

**KEY-WORDS:** Food crisis, ecological sanitation, human urine, fertiliser.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo hídrico e de nutrientes nos sistemas de saneamento ecológico. ....	16
Figura 2 – Caracterização das águas residuárias residenciais, seus possíveis tratamentos e reusos.....	18
Figura 3 - Vasos separadores de urina.....	19
Figura 4 – Configuração ilustrativa de um banheiro seco segregador...	20
Figura 5 - Comparação percentual da quantidade de nutrientes contidos nas águas residuárias domésticas. ....	22
Figura 6 - Características das águas residuárias domésticas sem diluição das excretas. ....	23
Figura 7 - Características qualitativas das águas residuárias domésticas. Parâmetros expressos em g/(hab.dia). ....	24
Figura 8 – Cassis, groselhas e rosas fertilizadas com urina em Uppsala, na Suécia. ....	38
Figura 9 - Exemplo de aplicação de urina com regador de água, na Suécia. ....	38
Figura 10 – Aplicação em larga escala de urina em culturas de cevada. ....	38
Figura 11: Espinafre cultivado sem fertilização, à esquerda, e fertilizado com urina diluída em 1:3, à direita.....	39
Figura 12 - Modelo proposto do tanque de estocagem de águas amarelas, feito de PEAD, da empresa Ambietel. ....	49



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nutrientes na urina humana e a quantidade de fertilizante necessária produção de 250 kg/ano de grãos. ....	20
Tabela 2 - Possíveis patógenos excretados pela urina e a relevância como meio de transmissão. ....	25
Tabela 3 - Condições de armazenamento para inativação de patógenos na urina, conforme o tipo de cultura alimentícia. ....	27
Tabela 4 – Resumo das principais tecnologias de tratamento de urina e suas características. ....	30
Tabela 5 – Assentamentos de reforma agrária existentes no município de Abelardo Luz. ....	42
Tabela 7 - Estimativa dos nutrientes excretados per capita em diferentes países. ....	51
Tabela 8: Dados utilizados no cálculo da quantidade de nutrientes (NPK) passíveis de serem recuperados. ....	52
Tabela 8 - Volumes totais de biofertilizante produzidos no Assentamento Rural Papuan II. ....	57
Tabela 9 - Quantidades totais e por hectare de subsistência de macronutrientes (NPK) recuperados no Assentamento Rural Papuan II. ....	62
Tabela 10 – Áreas mínimas de culturas que podem ser fertilizadas com volumes específicos de urina tratada. ....	63
Tabela 11 – Tempo de aplicação e dosagens de urina tratada para diferentes culturas. ....	63
Tabela 12 – Áreas de culturas de trigo, milho e batata que podem ser fertilizadas com o conteúdo de um tanque de estocagem de águas amarelas. ....	64
Tabela 13 - Estimativa da produção alimentar, por colheita, obtida através do reuso agrícola de 1098 L de urina tratada, em cada propriedade familiar do Assentamento Rural Papuan II. ....	65
Tabela 14 – Estimativas de produção alimentar por propriedade familiar, ao longo do horizonte de projeto. ....	65
Tabela 15 – Estimativas de produção alimentar no Assentamento Rural Papuan II, ao longo do horizonte de projeto. ....	66
Tabela 16 – População que pode ser alimentada anualmente por meio do cenário proposto no Assentamento Rural Papuan II. ....	67

## **LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS**

ANA	Agência Nacional de Águas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NPKS	Nitrogenio, Fósforo, Potássio e Enxofre
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
WHO	Organização Mundial da Saúde

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS DO ESTUDO.....</b>	<b>12</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>13</b>
3.1. SANEAMENTO ECOLÓGICO .....	13
3.2. ASPECTOS QUALI-QUANTITATIVOS DA URINA HUMANA .....	21
3.2.1. CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA .....	21
3.2.2. CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA .....	21
3.2.2.1. Características Físico-químicas .....	21
3.2.2.2. Características Microbiológicas.....	25
3.3. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE URINA HUMANA .....	28
3.3.1. Armazenamento, Evaporação e Recuperação de Nutrientes	32
3.3.2. Remoção de micropoluentes .....	36
3.4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE URINA HUMANA ....	37
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
4.1. LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES E COLETA DE DADOS SECUNDÁRIOS.....	40
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	41
4.3. SELEÇÃO DA ALTERNATIVA DE TRATAMENTO .....	45
4.4. DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE REUSO DE ÁGUAS AMARELAS .....	46
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>54</b>
5.1. CENÁRIO DE REUSO DE ÁGUAS AMARELAS.....	54
5.1.2. Enquadramento legal e aspectos quali-quantitativos do biofertilizante.....	57
5.1.3. Estimativa de recuperação de macronutrientes e produção alimentar .....	59
5.1.4. Recomendações gerais do reuso agrícola de águas amarelas no Assentamento Rural Papuan II .....	68
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>Erro!</b>
Indicador não definido.	
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Diante da numerosa população mundial que ultrapassa os sete bilhões de habitantes e cresce em uma taxa que até a metade do século XXI resultará em mais de nove bilhões de pessoas residindo no planeta Terra, inúmeros são os desafios a serem confrontados pelo homem nas próximas décadas. O conturbado aumento populacional em áreas urbanas e a extrema poluição dos recursos naturais, cumulados com a insegurança hídrica, energética e alimentar, resultam em quadros que afetam diretamente o balanço climático e a estabilidade do globo terrestre.

As problemáticas decorrentes do esgotamento quali-quantitativo dos recursos hídricos a nível mundial estão se tornando cada vez mais preocupantes. Diversos são os indicativos de que os cenários tendem a piorar e que o mundo está a mercê de enfrentar uma séria crise de disponibilidade hídrica que irá atingir toda a vida humana. Os países periféricos e pouco desenvolvidos são os mais afetados pela escassez de água potável, fato este acompanhado pela elevada incidência de doenças de veiculação hídrica e impactos ambientais oriundos do baixíssimo investimento em infraestruturas de saneamento básico, em muitos locais inexistentes.

Além da crise hídrica que assola o globo, associada à baixa cobertura de saneamento básico, outra problemática de igual relevância e que vem sido amplamente discutida em fóruns e discussões internacionais é a crise alimentar. A crise alimentar se dá principalmente nos países em desenvolvimento, como consequências do crescimento populacional, associado ao aumento da demanda por fertilizantes e aliado ao desperdício de alimentos, à sua má distribuição e à infertilidade dos solos (MAGRI, 2013).

Em conjunto, a crise hídrica e alimentar representam as maiores problemáticas a serem solucionadas pela humanidade, podendo culminar em consequências gravíssimas para as sociedades, desde o aumento da fome, miséria e doenças, até guerras e recessões econômicas mundiais.

Visando solucionar as problemáticas da segurança hídrica e alimentar, como também diversas outras questões imprescindíveis ao desenvolvimento sustentável da humanidade, nações de todo o mundo reuniram-se para estabelecer os 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), cujas metas principais visavam reduzir pela metade o

número de pessoas sem acesso a saneamento e também reduzir pela metade a pobreza e a fome no mundo, até o ano de 2015.

Em 2015, após o sucesso parcial da busca pela concretização dos ODM, líderes mundiais e representantes da ONU elaboraram uma agenda de desenvolvimento pós-2015 para suceder o legado construído pelos ODM, criando o conjunto dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), cujo enfoque é estimular a ação para os próximos 15 anos nas questões cruciais para a humanidade e o planeta, como a erradicação da pobreza, da fome e o acesso universal a água potável e saneamento – ODS nº 1, 2 e 6, respectivamente (ONU, 2015).

Visando o alcance das metas e objetivos definidos na Agenda 2030, faz-se imprescindível uma mudança de paradigma que envolva diretamente a concepção dos sistemas de esgotamento sanitário comumente utilizados, através da adoção de práticas de segregação e reutilização dos componentes dos esgotos que são usualmente geridos como resíduos inutilizáveis e indesejáveis.

Conforme Magri (2013), a contribuição do saneamento para amenizar as problemáticas da crise alimentar e hídrica pode ser de imensa importância, desde que o mesmo seja devidamente direcionado ao reuso dos nutrientes contidos nas excretas humanas que são comumente descartados como poluentes. Desta forma, a reciclagem dos nutrientes presentes no esgoto sanitário possibilita a atuação do saneamento no controle da poluição hídrica, na promoção da saúde pública e no aumento da produção de alimentos, refletindo diretamente no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável previstos para 2030.

Neste contexto, a viabilidade econômica e ambiental da reciclagem dos nutrientes presentes nos esgotos sanitários pode ser alcançada por meio da segregação, tratamento e reutilização das excretas humanas, evitando-se o uso insustentável de grandes volumes de água potável para o transporte e posterior descarte das mesmas em corpos hídricos. Além do imenso desperdício de água potável que tal prática implica, ressalta-se ainda a contaminação hídrica decorrente da transformação das excretas em poluentes, e não em recursos agrícolas reutilizáveis.

Por meio da segregação e subsequente reuso agrícola das frações do esgoto ricas em nutrientes, a quantidade remanescente de nitrogênio e fósforo a ser direcionada às estações de tratamento de esgoto (ETE) é

reduzida imensamente, fato este que elimina a necessidade de tratamento terciário e minimiza os riscos de descarte de nutrientes nos corpos hídricos (MAGRI, 2013). Ademais, pode-se inclusive diminuir a exploração de recursos naturais e emissão de poluentes necessários para a produção de fertilizantes químicos, caso os nutrientes das excretas humanas sejam reutilizados de forma que os substituam (JÖNSSON e VINNERAS, 2013).

Em consonância com tais entendimentos e a busca pelo alcance dos ODS, através do presente estudo, visa-se a integração dos desafios supracitados e a proposição do saneamento ecológico como alternativa aos sistemas de saneamento comumente utilizados, de forma que os nutrientes excretados pela comunidade sejam reempregados na agricultura, contribuindo na produção alimentar e minimizando o potencial de poluição de solos e águas subterrâneas.

Visto que a implantação de sistemas de saneamento ecológico é mais fácil em localidades rurais não consolidadas, que não possuem sistemas de esgotamento sanitários implantados e dependem de alternativas de tratamento individuais na gestão dos esgotos domésticos, definiu-se como área de estudo da presente pesquisa o Assentamento Rural Papuan II, localizado no município de Abelardo Luz, em Santa Catarina.

O assentamento rural Papuan II localiza-se na porção sul do município de Abelardo Luz. Foi criado em 01 de Abril de 1987, possuindo uma área total de 969 hectares com capacidade máxima de 63 famílias assentadas (INCRA, 2018). Até o presente momento, restam assentadas 51 famílias, registradas junto ao INCRA, resultando em propriedades familiares com áreas médias de 19,0 hectares.

Dentre as principais atividades que contribuem para a economia da área de estudo, destaca-se a produção leiteira e as lavouras de milho e soja. Há também o cultivo de subsistência de feijões (SESSI, 2013).

Deste modo, para fins da presente pesquisa, propõe-se a implantação de um cenário de reuso de águas amarelas no Assentamento Rural Papuan II, no qual toda urina gerada diariamente seja coletada por vasos sanitários separadores, tratada por estocagem e reutilizada como fertilizante nas culturas agrícolas locais, de modo a possibilitar uma avaliação do potencial agrônômico da urina humana.

## **2. OBJETIVOS DO ESTUDO**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Evidenciar o potencial agrícola da urina humana a partir da proposição de um cenário de reuso de águas amarelas.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Definir um cenário de reuso de águas amarelas no Assentamento Rural Papuan II.
- ✓ Estimar a produção de biofertilizante a partir da estocagem da urina gerada diariamente no assentamento;
- ✓ Definir áreas de diferentes culturas que podem ser fertilizadas a partir do biofertilizante produzido.
- ✓ Estimar a produção alimentar anual e a população que pode ser alimentada a partir do cenário proposto.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. SANEAMENTO ECOLÓGICO

No Brasil e em grande parte do mundo constata-se a sistematização geral da gestão do esgotamento sanitário, baseada em concepções tradicionais, por meio de sistemas centralizadores, nos quais as águas residuárias são coletadas e transportadas por longas distâncias até o local de tratamento, nas grandes estações centralizadas de tratamento de efluentes.

Os sistemas de esgotamento sanitário tradicionais foram concebidos a partir de uma perspectiva de fim de tubo, na qual os excrementos humanos são compreendidos como resíduos indesejáveis e sem valor econômico, que devem ser coletados, transportados e tratados em conjunto, para então serem devidamente descartados ao meio ambiente em conformidade com o previsto na legislação ambiental pátria.

Contrapondo-se ao cenário de insustentabilidade e poluição incontrolável dos recursos naturais, oriundo da incapacidade atingir a universalização dos serviços de saneamento por parte do modelo centralizador, eis que nasce o conceito de saneamento descentralizado. Tal conceito é definido, segundo Philippi *et al.* (2007), como a redução do transporte de esgoto e sua consequente transposição por microbacias hidrográficas, através da coleta, tratamento, disposição final adequada e, principalmente, o reuso dos efluentes sanitários gerados em residências, instituições, estabelecimentos comerciais e indústrias.

Deste modo, adentrando-se no contexto de descentralização do saneamento e no conceito de reuso, têm-se que todo sistema que transforma energia de alguma forma, exporta ao meio suas “saídas” ou “outputs”, denominados no âmbito do saneamento como resíduos e/ou excretas. A sustentabilidade do meio ambiente fica determinada justamente através da forma como estes são compreendidos, destinados e utilizados.

Assim, tem-se que a estratégia mais evoluída e em consonância com a sustentabilidade é a reciclagem dos nutrientes, utilizando como referência o modelo da natureza de reciclar a matéria e energia. Rejeitos são inexistentes em ecossistemas equilibrados, uma vez que os “outputs” de um organismo são os “inputs” de outro (STEINFELD; DEL PORTO, 2007).



Baseando-se nas premissas da descentralização dos sistemas de saneamento, que é apresentada a proposta do Saneamento Ecológico, ou Ecossaneamento. Trata-se de uma abordagem diferenciada no que tange à compreensão e gerenciamento de águas residuárias domiciliares. É uma mudança de paradigma total, iniciando-se a partir do reconhecimento das excretas humanas como recursos que devem ser recuperados e reciclados, representando uma perspectiva que valoriza o fluxo cíclico dos nutrientes e se opõe a abordagem linear baseada no descarte de rejeitos como retorno ao meio ambiente (ESREY, 2000).

Apesar de ter se consolidado somente nas duas últimas décadas como tópico de discussão e revolução no que tange aos sistemas de saneamento, o ecossaneamento é, na verdade, uma prática milenar que, ao longo dos séculos, caiu no esquecimento das civilizações e foi substituído por alternativas supostamente mais fáceis e seguras, uma vez que a ideia de gerir as excretas através de tubulações e longe do campo de visão humano proporciona uma sensação de comodismo e higienização.

COHIM; KIPERSTOK (2008) apontam que até o período da Revolução Industrial, a relação entre os campos e as cidades era notavelmente harmônica e simbiótica: os alimentos cultivados nos campos beneficiavam as cidades, ao passo que o adubo e a matéria orgânica gerados nas cidades subsidiavam a agricultura.

Nas nações europeias, a prática do aproveitamento de excretas ainda se fazia bastante presente em meados do século XIX. Na capital francesa, estas eram dispostas em grandes tanques, tipo fossas impermeáveis. Uma vez cheias, eram esvaziadas e os dejetos encaminhados para a separação de líquidos e sólidos. Os sólidos, então, eram desidratados naturalmente e transportados para servirem como fertilizantes nas áreas rurais. Em 1842, existiam mais de 50.000 tanques impermeáveis em Paris, e um grupo de 200 a 250 pessoas fazia o trabalho de retirada de excretas, secagem e transporte para as áreas rurais. [...]

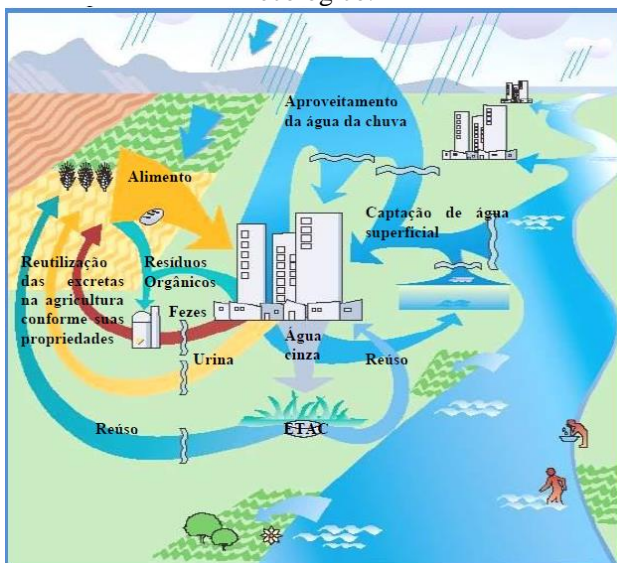
(BOTTO, 2013, p. 51)

Entretanto, após a implantação de sistemas hidráulicos para transporte de excretas e disposição nos corpos receptores, dando início a poluição hídrica em massa, o desenvolvimento de várias formas de tratamento de águas residuárias passaram a acontecer. O aprimoramento das técnicas biológicas de tratamento de esgotos, em conjunto com o surgimento da fabricação de fertilizantes químicos, foram suficientes para firmar este modelo de sistema de esgotamento sanitário baseado na concepção de fim de tubo, rompendo a antiga ordem das sociedades orgânicas (COHIM; KIPERSTOK, 2008) e praticamente extinguindo a prática do ecossaneamento.

Venturosamente, diante das circunstâncias da atualidade, o Ecossaneamento novamente ganhou visibilidade e têm sido amplamente estudado e difundido como uma tecnologia e filosofia alternativa ao saneamento convencional, buscando atender as maiores problemáticas no âmbito do meio ambiente e sendo, inclusive, considerado uma ferramenta de ajuda no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006). Ademais, diante do baixo custo de implantação, transporte e tratamento dos excretas separadamente, e subsequente reuso na agricultura, o ecossaneamento pode ser adotado em situações de emergência como técnica sustentável para disposição de excretas.

A Figura 1, a seguir, apresenta um fluxograma ilustrativo referente à abordagem não-linear de gestão de excrementos humanos e águas residuárias domiciliares, cujo fechamento do ciclo de nutrientes entre o meio urbano e rural é a premissa básica dos sistemas de saneamento ecológicos.

Figura 1 - Fluxo hídrico e de nutrientes nos sistemas de saneamento ecológico.



Fonte: Botto (2013); Adaptado de Werner *et al.* (2004).

Na prática, o reaproveitamento do esgoto doméstico oriundo de áreas urbanas possibilita a reciclagem de nutrientes às áreas agrícolas cultiváveis. De maneira geral, o fluxo de nutrientes existente é de sentido único, sem retorno das áreas urbanas para a agricultura, fazendo-se necessária a utilização de fertilizantes sintéticos que muitas vezes contém metais pesados e outros resíduos de elevada toxicidade. Caso tais nutrientes fossem reaproveitados, poderia se reduzir o uso destes fertilizantes entre 35% e 45%, sendo que apenas a urina poderia substituir de 20% a 25% (JÖNSSON, 1994 apud Lind, 2001).

Segundo WERNER *et al.* (2004), o princípio básico do Saneamento Ecológico é representado pelo estabelecimento do ciclo dos nutrientes entre o saneamento e a agricultura e as vantagens de implantação são as seguintes:

- ✓ Promoção da reciclagem através da recuperação segura e higiênica de nutrientes, elementos traços, água e energia.

- ✓ Economia de recursos decorrente da redução do consumo de água, substituição de fertilizantes químicos e minimização de poluição dos corpos hídricos.
- ✓ Contribuição efetiva na preservação da fertilidade dos solos.
- ✓ Melhoria da saúde pública através da minimização da introdução de patógenos oriundos de excretas humanas no ciclo hidrológico.

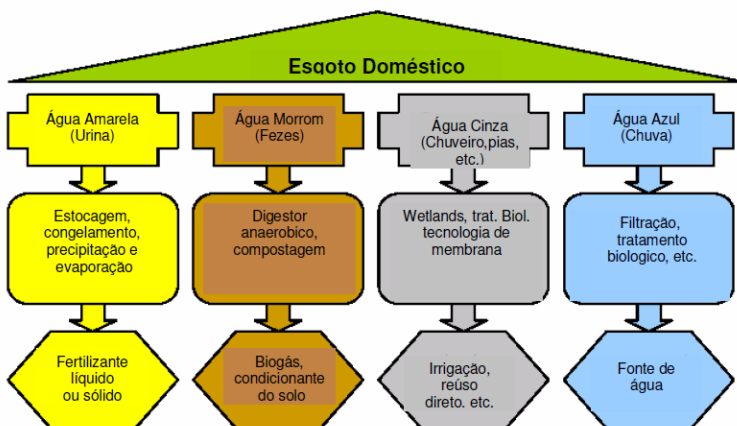
Na prática, a implementação de projetos de saneamento ecológico requer uma abordagem holística e interdisciplinar que trespasa os aspectos tecnológicos e disciplinares do abastecimento domiciliar de água potável e gerenciamento de águas residuárias residenciais, contemplando problemáticas sociológicas e culturais, agricultura, saúde e higiene, planejamento urbano, economia e diversos outros aspectos (WERNER *et al.*, 2004).

A otimização da eficiência de tratamento e reciclagem dos sistemas de saneamento ecológico é garantida a partir da aplicação de dois princípios básicos: segregação da coleta das fezes, urina e águas cinzas; e minimização da diluição dos efluentes através do uso de descargas sem ou com consumo mínimo de água, possibilitando elevadas concentrações de recicláveis. O modelo de gerenciamento das águas residuárias residenciais, na concepção do ecossaneamento, é caracterizado da seguinte forma (WERNER *et al.*, 2004):

- ✓ Águas negras: mistura de fezes e urina com ou sem descarga no vaso sanitário.
- ✓ Águas amarelas: urina com ou sem mistura de descarga de água do vaso sanitário.
- ✓ Águas marrons: águas negras sem urina.
- ✓ Águas cinzas: efluente doméstico isento de urina e fezes.

A figura 2, a seguir, apresenta um resumo dos tratamentos e rotas de reutilização possíveis a serem aplicados com os diferentes tipos de águas residuárias domésticas, conforme princípios do ecossaneamento.

Figura 2 – Caracterização das águas residuárias residenciais, seus possíveis tratamentos e reusos.



Fonte: Adaptado de Ganrot (2005)

Dentre os nutrientes excretados pelo homem, urina contém a totalidade destes, sendo aproximadamente 80% do nitrogênio e 2/3 do fósforo e potássio (JÖNSSON; 2004). Conforme Vinnerås; Jönsson (2002), caso houvesse a coleta separada de fezes e urina, 91, 83 e 59% de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, poderiam ser recuperados e reutilizados como um recurso, ao invés de serem poluentes ao meio ambiente. Todo dia, uma pessoa excreta na ordem de 30 g de carbono (90 g de matéria orgânica), 10-12 g de nitrogênio, 2,0g de fósforo e 3,0g de potássio (STRAUSS, 2000).

Deste modo, a separação da urina compreende uma das premissas básicas dos projetos de saneamento ecológico, podendo ser realizada através do uso de vasos sanitários separadores que dispõem em seu interior uma parede divisória, de tal modo que as fezes escoam pela parte de trás e a urina pela frente, evitando as suas misturas (JOHANSSON *et al.*, 2000).

Segundo Lind *et al.* (2001), sistemas de vasos separadores de urina têm sido desenvolvidos e instalados ao redor do mundo em diversas eco-villas, muitas situadas na Suécia e Alemanha. A Figura 3, a seguir, ilustra modelos de vasos sanitários separadores de excretas humanas, empregados nos projetos de ecossaneamento.

Figura 3 - Vasos separadores de urina.



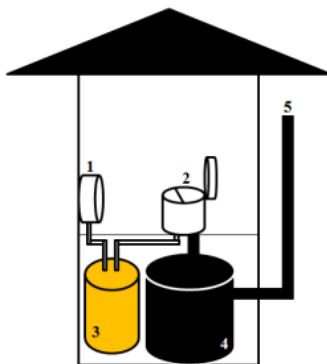
Fonte: BAZZARELLA *et al.* (2005).

Alguns países europeus e africanos já adotaram práticas de ecossaneamento em condomínios vilas e casas, através da utilização de vasos sanitários separadores de excretas. No entanto, conforme Lind *et al.* (2000), são comumente encontrados problemas no armazenamento, decorrentes de questões de higiene, manejo e transporte.

Conforme Botto (2013), em busca pelo desenvolvimento de tecnologias sustentáveis aplicadas aos conceitos do ecossaneamento, a Fundação Melinda & Bill Gates lançou um programa de financiamento e apoio aos modelos de sanitários separadores, visando à ampliação da qualidade de serviço não somente para o governo, bairros e setores privados, mas também para todos os residentes.

Na sequência, é ilustrada na figura 4 a configuração de um banheiro seco com segregação de excretas, existente no Jardim Botânico de Florianópolis, no qual não há consumo de água no transporte destas.

Figura 4 – Configuração ilustrativa de um banheiro seco segregador.



Legenda: 1 = mictório; 2 = vaso segregador; 3 = tanque de armazenamento de urina; 4 = tanque de armazenamento de fezes; 5 = sistema de exaustão das fezes. Fonte: SOUZA (2013)

Salienta-se ainda o potencial de utilização da urina humana como fertilizante agrícola natural através da tabela 1, a qual indica a quantidade de nutrientes em quilogramas excretado na urina por uma pessoa ao longo de um ano, resultando em um volume em torno de 500 L. Tal valor é comparado com a quantidade de fertilizante necessária para produzir 250 quilogramas de grãos suficientes para suprir as demandas energéticas e proteicas de uma pessoa adulta por um ano (WOLFGAST et al., 1993).

Tabela 1 - Nutrientes na urina humana e a quantidade de fertilizante necessária produção de 250 kg/ano de grãos.

Compostos	500 L de Urina	Demanda de fertilizante (kg)
<b>Nitrogênio (N)</b>	4,0 kg	5,6 kg
<b>Fósforo (P)</b>	0,4 kg	0,7 kg
<b>Potássio (K)</b>	0,9 kg	1,2 kg
<b>N + P + K</b>	5,3 kg (71%)	7,5 kg

Fonte: Adaptado de Wolfgast *et al.* (1993).

Pode-se constatar que de um total de 7,5 kg de fertilizante químico necessário para o cultivo, apenas uma pessoa pode contribuir

com 5,3 kg, equivalente a 71% da demanda, evidenciando aí o potencial que a urina detém na fertilização de grãos.

## **3.2. ASPECTOS QUALI-QUANTITATIVOS DA URINA HUMANA**

### **3.2.1. CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA**

A urina é uma solução aquosa produzida nos rins através de sucessivas filtrações do sangue, sendo composta de diversas substâncias orgânicas e inorgânicas, cujos aspectos quali-quantitativos são bastante variáveis de pessoa para pessoa, cujas influências associam-se aos hábitos alimentares, regiões geográficas, metabolismo, idade e gênero (JÖNSSON *et al.*, 1997; JÖNSSON; VINNERAS, 2004).

Inúmeros são os trabalhos nacionais e internacionais de pesquisas referentes a caracterizações quantitativas da produção per capita de urina humana. De acordo com WOLFGAST (1993) e FITTSCHEN (1998), a produção diária média de urina por pessoa adulta é em torno de 1,5 litros.

Através de estudos realizados no Brasil, Rebouças *et al.* (2007) identificaram bastante semelhança entre os sexos masculino e feminino na produção diária de urina, obtendo valores médios de 1,35 litros por pessoa. Zancheta *et al.* (2007), optou pela caracterização não somente por gênero, mas também por idade, alcançando valores diários per capita de 1,18; 1,47; 1,50 e 0,70 L/dia, respectivamente, para mulheres, homens, idosos e crianças. Analogamente, Rios *et al.* (2007) obtiveram os resultados a seguir, conforme ordenação etária indicada previamente: 1,38; 1,42; 1,83 e 0,55 L/hab.dia. Em termos da geração anual, Magri (2013) obteve em sua tese de doutorado a produção média de 549 litros de urina por pessoa adulta.

### **3.2.2. CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA**

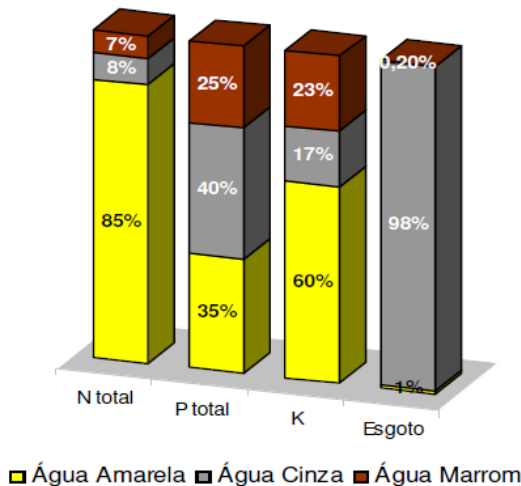
#### **3.2.2.1. Características Físico-químicas**

Em relação aos aspectos qualitativos da urina humana, mais especificamente a composição físico-química, especifica-se como principais compostos os sais e nutrientes, como o cloreto de sódio (NaCl), ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), sulfatos (SO<sub>4</sub>), etc. (LIND *et al.*, 2001; VINNERAS, 2001).



Conforme Johansson (2000), a maior parcela de nutrientes do esgoto sanitário está contida na urina, que detém aproximadamente 80% do nitrogênio, 55% do fósforo e 60% do potássio, e constitui menos de 1% do volume do esgoto convencional, conforme ilustrado na figura 5.

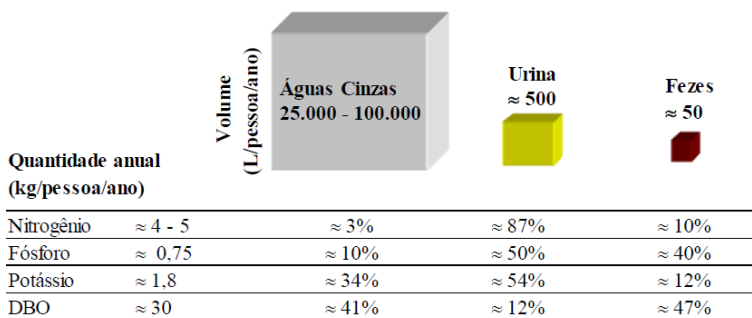
Figura 5 - Comparação percentual da quantidade de nutrientes contidos nas águas residuárias domésticas.



Fonte: Adaptado de Johansson (2000).

De acordo Vinneras (2001), a urina dispõe do maior percentual de nutrientes em comparação aos outros tipos de águas residuárias. A figura 6, a seguir, possibilita uma visualização comparativa da composição de nutrientes em águas cinzas, amarelas e marrons, exaltando o grande diferencial existente na urina em termos de quantidade anual gerada por pessoa.

Figura 6 - Características das águas residuárias domésticas sem diluição das excretas.



Fonte: Adaptado de Otterpohl *et al.* (2003)

Conforme Magri (2013), em relação à produção anual de nitrogênio e fósforo contidos na urina fresca, um adulto produz em média  $2,65 \text{ kg NT} \cdot \text{ano}^{-1}$  e  $0,30 \text{ kg P-PO}_4^{3-} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

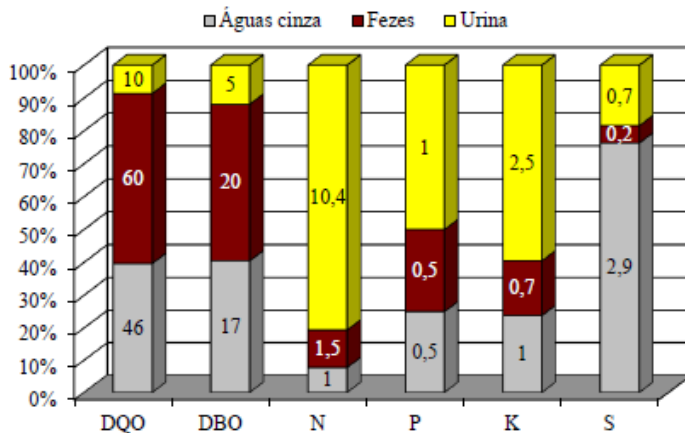
Aproximadamente 80% do nitrogênio total contido na urina encontra-se na forma de uréia, sendo o restante distribuído em complexos inorgânicos e orgânicos. Em uma base diária, a excreção de ureia em adultos oscila entre 11,8 e 23,8 gramas, sendo que a relação entre nitrogênio total e uréia equivale, aproximadamente, a 0,8 (FITTSCHE E HAHN, 1998).

Similarmente, Hellström *et al.* (1999) evidenciam que na urina fresca 75 a 90% do nitrogênio encontra-se sob a forma de ureia  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ , sendo o restante encontrado em outras formas de nitrogênio orgânico, além do nitrogênio inorgânico na forma de amônia, nitrito e nitrato. Durante a hidrólise natural da ureia em amônia, ocorre o aumento da concentração de nitrogênio amoniacal e a elevação do pH da urina.

No que se refere aos parâmetros relativos à presença de matéria orgânica, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é de 180mg/L, ou 5g/pessoa.dia (KIRCHMANN; PETTERSSON, 1995). Destaca-se que tal valor representa apenas um quarto do encontrado nas fezes humanas, visto que estas concentram em torno de 30% da matéria orgânica presente nas águas residuárias domésticas (MEINZINGER; OLDENBURG, 2008).

A figura 7, a seguir, expressa as quantidades em g/pessoa/dia de matéria orgânica e nutrientes presentes nas águas residuárias domésticas.

Figura 7 - Características qualitativas das águas residuárias domésticas. Parâmetros expressos em g/(hab.dia).



Fonte: Adaptado de Meininger; Oldenburg (2008).

Nos entendimentos de Udert et al. (2003), a eliminação da urina no esgoto doméstico possibilitaria o balanceamento praticamente integral dos níveis de carbono e nitrogênio. Deste modo, as bactérias responsáveis pela degradação da matéria orgânica podem absorver todo o conteúdo de nitrogênio, e o excesso de fósforo residual do tratamento biológico pode ser facilmente reduzido. Neste sentido, a urina humana, ao ser misturada com os outros efluentes residenciais e encaminhados às estações de tratamento, é responsável por exponencializar a complexidade do tratamento e os custos operacionais das ETEs.

A presença de metais pesados na urina humana se dá muitas vezes através da ingestão de alimentos possivelmente contaminados, como peixes de águas que receberam despejos industriais (VINNERÅS; JÖNSSON, 2002). Ademais, em torno de 90% dos metais pesados ingeridos pelo ser humano, por meio da inalação ou ingestão, são eliminados através das fezes. Grande parte dos metais pesados que ocasionalmente encontram-se presentes nos efluentes domésticos,

originam-se das águas cinzas, em grande parte devido aos resíduos dos talheres e corantes (VINNERÅS; JÖNSSON, 2002).

### 3.2.2.2. Características Microbiológicas

Em relação às características microbiológicas da urina, destaca-se que esta se apresenta estéril na bexiga de indivíduos saudáveis (JOHANSSON et al., 2001; SCHÖNNING; STENSTRÖM, 2004). No entanto, quando transportada para fora do corpo, bactérias dérmicas são arrastadas e a urina recém excretada pode conter níveis de até 10.000 bactérias/mL (SCHÖNNING, 2001).

Conforme relatos de Höglund (2001), grande parte dos patógenos encontram-se presentes nas excretas fecais, ao passo que uma minuta parcela é excretada pela urina. Sendo assim, compreende-se que os principais riscos no reuso de excretas são oriundos da fração fecal, e não da urina.

De acordo com Beal *et al.* (2007) e Feachem *et al.* (1983), os patógenos mais comumente encontrados na urina humana são: *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi*, *Mycobacterium tuberculosis*, polyomavirus, *Leptospira interrogans*, adenoviruses, *Shistosoma haematobium*.

A seguir, a tabela 2 os patógenos mais prováveis a ser excretados pela urina e dispõe sobre sua relevância na rota de transmissão de doenças.

Tabela 2 - Possíveis patógenos excretados pela urina e a relevância como meio de transmissão.

PATÓGENOS	URINA COMO MEIO DE TRANSMISSÃO	RELEVÂNCIA
<b>Leptospira interrogans</b>	Usualmente através da urina animal	Provavelmente baixo
<b>Salmonella typhi e Salmonella paratyphi</b>	Provavelmente incomum, excretada na urina em infecção sistêmica	Baixo comparado com outros meios de transmissão
<b>Schistosoma haematobium (ovos excretados)</b>	Não direta, mas indiretamente. A larva infecta o homem através da água doce.	É necessário considerar em áreas endêmicas onde água doce é disponível

<b>Mycobacteria</b>	Incomum, normalmente transportado pelo ar	Baixo
<b>Virus: citamegalovirus (CMV), JCV, BKV, adeno, hepatite e outros</b>	Normalmente não reconhecido, com exceção de casos isolados de hepatite A e sugerido para a hepatite B. Necessita de mais informações	Provavelmente baixo
<b>Microsporidia</b>	Sugerido, mas não reconhecido	-
<b>Causadores de doenças venéreas</b>	Não, não sobrevivem durante períodos significativos fora do corpo	-
<b>Infecção do trato urinário</b>	Não, não há uma transmissão ambiental direta	Baixo

Fonte: Botto (2013), Adaptado de Schönning; Stenström (2004).

Apesar das baixas probabilidades de infecção contagiosas especificamente por microrganismos excretados pela urina, os riscos mais significantes à saúde estão associados à contaminação cruzada da urina com matéria fecal (HÖGLUND *et al.*, 2002). Conforme Schönning *et al.* (2002), a contaminação fecal cruzada pode ocorrer através da disposição equivocada de fezes no repositório separador que recebe a urina.

No entanto, apesar das significantes probabilidades de conter patógenos, a estocagem adequada da urina por um determinado período possibilita a esterilização completa dos microrganismos, principalmente pela elevada alcalinidade que se propaga conforme a ureia é hidrolisada em amônia pela enzima urease.

Beal *et al.* (2007) afirmam que não há riscos à saúde pública decorrentes dos microrganismos patogênicos transportados via urina, uma vez que diversos estudos apontam eficientes inativações dos patógenos em condições adequadas de armazenamento com tempo superior a 6 meses. Vinnerås *et al.* (2008) sugerem períodos de estocagem de 6 meses a 20°C ou mais, afim de assegurar a segurança sanitária da urina.

Em entendimento similar, Esrey (1998) aponta que o armazenamento da urina sem diluição ao longo de um mês renderá uma urina segura para o uso na agricultura, pois a elevada concentração química fornece um ambiente mais árido para microrganismos, o que aumenta a taxa de mortalidade dos patógenos e impede a produção de mosquitos.

Dentro os principais parâmetros que afetam a inativação dos microrganismos patogênicos, devem-se ressaltar a temperatura, pH e amônia (HÖGLUND *et al.*, 2002). Ao decorrer do período de estocagem, as reações de amonificação convertem a ureia a amônia, elevando o pH a valores acima de 9,0, proporcionando efeitos bactericidas e anti-protozoários.

A seguir, a tabela 3 apresenta condições de armazenamento em função da temperatura e tempo mais adequados, visando a inativação de diferentes microrganismos e a aplicação de urina como fertilizante em culturas alimentícias distintas.

Tabela 3 - Condições de armazenamento para inativação de patógenos na urina, conforme o tipo de cultura alimentícia.

Temperatura de Armazenamento	Tempo de Armazenamento	Prováveis patógenos na urina após o armazenamento	Culturas alimentícias recomendadas
<b>4°C</b>	$\geq 1$ mês	Vírus, protozoários	Culturas alimentícias e culturas de forragem que serão processadas
<b>4°C</b>	$\geq 6$ meses	Vírus, protozoários	Culturas alimentícias que serão processadas e culturas de forragem
<b>20°C</b>	$\geq 1$ mês	Vírus	Culturas alimentícias que serão processadas e

			culturas de forragem
20°C	≥ 6 meses	Provavelmente nenhum	Todos os tipos de culturas

Fonte: WHO (2006).

### 3.3. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE URINA HUMANA

Na atualidade, as tecnologias mais indicadas para a segregação e reaproveitamento dos nutrientes da urina humana são os vasos separadores de excretas (BOTTO, 2013). Entretanto, existem diversas problemáticas e controvérsias a cerca da aplicação direta da urina humana como fertilizante na agricultura, decorrentes, em sua grande parte, da presença de patógenos, resíduos hormonais e farmacêuticos.

Diante de tais fatos, faz-se imprescindível o desenvolvimento de pesquisas e aprimoramento de técnicas capazes de prover segurança e eficiência na produção de fertilizantes através da urina humana. De acordo com Lind *et al.* (2000), os principais aspectos abordados nas pesquisas sobre o ecossaneamento são o armazenamento, higienização, transporte e aplicação em campo da urina.

Conforme já apresentado, a separação das excretas humanas pode ser realizada através do uso de vasos sanitários equipados com duas divisões ou bacias, a posterior para coleta da urina e a de trás para a matéria fecal. Deste modo, supostamente, possibilita-se segregação completa da urina e o transporte por sistemas de tubulações em direção aos tanques de armazenamento (HELLSTRÖM *et al.*, 1999).

De acordo com Maurer *et al.* (2006), a segregação das excretas humanas na fonte de geração possibilita diversos benefícios quanto à gestão eficiente de águas residuárias. Entretanto, tais benefícios são acompanhados por inúmeros desafios e questionamentos. Maurer *et al.* (2006) aponta ainda que a urina humana se trata de uma solução instável e periculosa, fazendo-se necessário tratamentos capazes de eliminar os patógenos e remover micropoluentes orgânicos (fármacos, hormônios naturais e artificiais).

Schönning e Stenström (2004) enfatizam que o tratamento das excretas humanas é a principal medida de prevenção da disseminação de patógenos. Afirmam ainda que tal medida, em conjunto com práticas de prevenção, como a separação segura na fonte, conscientização dos riscos

e manejo apropriado, asseguram a redução de riscos à saúde pública. Complementarmente, Benetto *et al.* (2009) defendem que o desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias visando a eliminação de micropoluentes orgânicos reduziria as problemáticas das mudanças climáticas e os impactos ambientais gerados pela toxicidade de tais substâncias.

Entretanto, do reuso de urina humana decorrem outras questões além do tratamento de patógenos e remoção de micropoluentes orgânicos, adentrando-se nos quesitos de concentração de nutrientes para assegurar o seu efeito fertilizante quando aplicado em culturas alimentícias. Conforme Botto (2013), a concentração de nutrientes da urina é baixa quando comparada aos fertilizantes químicos, e o volume a ser armazenado e transportado é relativamente alto para atender as demandas nutricionais para o crescimento adequado das plantas, fato este que resulta em custos elevados nas etapas de manejo. Deste modo, é imprescindível que no processo de tratamento da urina esteja contemplada uma etapa de concentração de nutrientes, assegurando a redução do volume. (MAURER *et al.*, 2006).

Neste contexto, inúmeras técnicas de tratamento de urina vêm sido desenvolvidas e aprimoradas. Conforme Maurer *et al.* (2006), diante das propriedades únicas da urina, um grande leque de tecnologias podem ser utilizadas para tratá-la, podendo-se definir 7 principais propósitos de uma unidade de tratamento: redução de volume; recuperação de fósforo; recuperação de nitrogênio; estabilização; higienização; remoção de micropoluentes e remoção biológica de nutrientes.

Cabe apontar ainda que a estabilização da urina consiste em evitar a degradação da matéria orgânica, a volatilização da amônia e a precipitação de compostos de baixa solubilidade, como o fósforo. Tais processos são desencadeados por microrganismos, fazendo-se necessário evitar seu crescimento para estabilizar a urina, através da acidificação ou nitrificação parcial. (MAURER *et al.*, 2006).

Na tabela 4, a seguir, são apresentadas diversas alternativas de tratamento de urina humana, no entanto, apenas são abordadas em maiores detalhes as alternativas que envolvem recuperação de nutrientes e que possibilitam o reuso agrícola de águas amarelas.



Tabela 4 – Resumo das principais tecnologias de tratamento de urina e suas características.

Tipo de Tratamento	Higieniz.	Red. de Vol.	Estabiliz.	Recup. de P	Recup. de N	Rem. de MP	Sep. de nutri. e MP	Rem. de nutri.	Solidificação	Pré/pós-tratam.
<b>HIGIENIZAÇÃO</b>										
Armazenamento	+	o	o	o	o	o	o	o	+	-
<b>REDUÇÃO DO VOLUME</b>										
Evaporação	+	++	+	++	++	o	o	o	++	+
Congelamento/ Descongelação	?	+	o	++	++	o	o	o	o	o
Osmose reversa	?	+	o	++	++	o	o	o	o	+
<b>ESTABILIZAÇÃO</b>										
Acidificação	+	o	++	o	o	?	o	o	o	o
Microfiltração	+	o	++	o	o	o	o	o	o	o
Nitrificação	+	o	++	o	o	?	o	o	+	o

Fonte: Botto (2013); Adaptado de Maurer *et al.* (2006) / As linhas listam os processos tecnológicos e as colunas os objetivos a serem alcançados. Legenda: o: sem efeito; +: efeito positivo; ++: efeito muito positivo; -: não aplicável.

Tabela 5 (continuação) – Resumo das principais tecnologias de tratamento de urina e suas características.

Tipo de Tratamento	Higieniz.	Red. de Vol.	Estabiliz.	Recup. de P	Recup. de N	Rem. de MP	Sep. de nutri. e MP	Rem. de nutri.	Solidificação	Pré/pós-tratam.
<b>RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO</b>										
Estruvita	o	++	+	++	+	o	++	o	++	o
<b>RECUPERAÇÃO DE NITROGÊNIO</b>										
Troca-iônica	o	+	o	o	++	o	+	o	++	o
Estruvita	o	++	+	++	++	o	++	o	++	o
Remoção de NH <sub>3</sub>	o	+	o	o	++	o	++	o	o	o
Isobutylaldehide-diurea	o	+	o	o	++	o	+	o	+	o
<b>REMOÇÃO DE NUTRIENTES+</b>										
Anammox	+	o	++	o	o	?	+	++	+	+
<b>REMOÇÃO DE MICROPOLUENTES</b>										
Eletrodíálise	++	+	+	+	+	o	+	o	o	o
Nanofiltração	++	o	+	o	o	o	++	o	o	+
Ozonização	+	o	+	o	o	++	o	o	o	o

Fonte: Botto (2013); Adaptado de Maurer *et al.* (2006) / As linhas listam os processos tecnológicos e as colunas os objetivos a serem alcançados. Legenda: o: sem efeito; +: efeito positivo; ++: efeito muito positivo; -: não aplicável.

### 3.3.1. Armazenamento, Evaporação e Recuperação de Nutrientes

O armazenamento da urina oferece uma alternativa potencial na redução de riscos à saúde, em virtude de suas propriedades de higienização após tempos prolongados, visto que o processo de hidrólise da urina desencadeia-se naturalmente por ações enzimáticas, convertendo a ureia (orgânica) em nitrogênio amoniacal (inorgânico), responsável pela elevação do pH para valores que asseguram a eliminação de potenciais patógenos.

Diante da baixa complexidade e de não necessitar grandes insumos, o armazenamento é técnica mais empregada e difundida no tratamento da urina. Conforme Maurer *et al.* (2006), os três principais parâmetros que influenciam na higienização são o pH, a temperatura e o tempo de armazenamento. Experimentos de Hoglund *et al.* (2002), apontam que após estocada durante 6 meses, a urina pode ser considerada segura para ser utilizada em qualquer cultura.

Udert *et al.* (2003) apontam que a precipitação de compostos de fósforo são importantes efeitos adicionais do armazenamento de urina. Zancheta (2007) afirma que durante a estocagem, o aumento do pH possibilita a precipitação de cristais de inorgânicos como estruvita, calcita e hidroxiapatita (HAP). Pesquisas realizadas na Universidade Federal de Espírito Santo (UFES) por Bazzarella *et al.* (2005), indicam o crescimento de coliformes termotolerantes e *E. coli* na urina até os 20 primeiros dias, atingindo concentrações praticamente nulas ao final dos 30 dias.

Inúmeras pesquisas a respeito do armazenamento como método de tratamento já foram desenvolvidas, podendo-se citar Höglund *et al.* (2000); Höglund (2001); Höglund *et al.* (2002); Hellström *et al.* (1999); Udert *et al.* (2003); Vinnerås *et al.* (2008); Zancheta (2007), nas quais os autores apresentam as vantagens e desvantagens do método em função das condições de temperatura e os tipos de microrganismo.

No mesmo sentido, Magri (2013), em sua tese de doutorado realizada na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), implantou e avaliou em longo prazo um sistema piloto de armazenamento e estabilização de urina humana. No projeto, 130 L de urina humana proveniente de adultos foram divididos em 3 tanques de polietileno escuro e armazenados durante 24 meses. Ao final do período, o líquido resultante apresentou significativos teores de macronutrientes e carbono orgânico, com 2,5% C e 6,8/0,5/1,8/0,5% NPKS, evidenciando o seu potencial de reuso como fertilizante orgânico.

Em relação à redução do volume da urina, de acordo com Maurer *et al.* (2006), os processos mais eficientes são a evaporação e a precipitação, resultando em percentuais de 5 a 10% de água residual, ao passo que os processos de congelamento e osmose reversa possuem percentuais de redução entre 65 e 75%. Maurer *et al.* (2006) apontam ainda a elevada demanda energética necessária para aplicação de técnicas de congelamento e na osmose reversa, ressaltando também a existência de apenas testes laboratoriais para tais técnicas. Por outro lado, o processo de evaporação e armazenamento são os únicos já aplicados em escala piloto no tratamento de urina, além dos experimentos laboratoriais.

Pronk; Koné (2009) apontam que, dentre as alternativas avaliadas por Maurer *et al.* (2006), a evaporação é considerada a mais viável e adequada para as regiões próximas às zonas agrícolas e que possuem fornecimento de energia limitado e de baixa confiabilidade.

Botto (2013) aponta que além de tratar, a evaporação é considerada a tecnológica com maior potencial na remoção da massa líquida da urina. No entanto, ressalta que dois desafios mostram-se presentes em tal processo: a perda da amônia por volatilização e o consumo de energia.

Segundo Maurer *et al.* (2006), a volatilização da amônia pode ser evitada através da acidificação e o consumo de energia pode ser minimizado através da recuperação energética em casos de escassez de energia solar, utilizando-se compressão do vapor seguido de destilação (até 85% de recuperação energética).

Diversos estudos foram desenvolvidos em torno do desenvolvimento e testes preliminares de um protótipo de concentrador solar construído a partir de materiais facilmente acessíveis, possibilitando a reciclagem de urina em países subdesenvolvidos e que auferem poucos recursos financeiros.

Botto (2013), em sua tese de doutorado, projetou um sistema de aquecedor solar que promoveu a evaporação e a concentração dos nutrientes da urina, aumentando em 18% e 13%, respectivamente, as concentrações de nitrogênio e fósforo. Botto (2013) apontou que, apesar de tais valores se mostrarem baixos, não divergem em muito das experiências com zeólitos, que são de 15 a 60% para o nitrogênio e de 18% para o fósforo.

Através da exposição natural ao sol e com aplicação de ácido sulfúrico para minimizar as perdas de amônia por volatilização, Zancheta (2007) obteve 50g de fertilizante com concentrações

balanceadas de nitrogênio, fósforo e potássio, para cada litro de urina evaporada. A taxa média de evaporação foi de 2,8L/m<sup>2</sup>.d sob as condições de insolação do município de Vitória – ES. Este método possibilitou reduzir o volume da urina humana em aproximadamente 95%.

Antonini *et al.* (2011) realizaram experimentos com concentrador solar construído no Vietnã e a partir de urina coletada em banheiros separadores no dormitório da Universidade de Can Tho no Vietnã, onde foram produzidos 360g de biofertilizante sólido através do armazenamento seguro e simples de 50 litros de urina humana no concentrador solar após 26 dias de exposição ao sol. No experimento, foram analisados em estufa controlada os efeitos em plantas dos fertilizantes produzidos através da reciclagem da urina e os efeitos de um fertilizante químico de referência. Com os resultados das análises, constataram que a capacidade de assimilação dos biofertilizantes pelas plantas eram maiores do que em relação ao fertilizante químico de referência. A potencialidade de tal tecnologia mostra-se evidente também pelas características de baixos custos de investimento e operacionais, construída com materiais acessíveis e sem qualquer demanda de energia além da radiação solar.

Neste contexto, visando a recuperação e aplicação na agricultura, as técnicas mais eficazes de recuperação dos nutrientes contidos na urina humana são: evaporação, eletrodíálise, osmose reversa e precipitação com estruvita, podendo-se atingir aproveitamentos maiores que 90% do nitrogênio e/ou fósforo. Já os métodos baseados na troca iônica com zeólitos e precipitação de *Isobutylaldehyde-diurea* alcançam entre 60 e 80% de recuperação (ETTER *et al.*, 2011; MAURER *et al.*, 2006; RONTALTAP *et al.*, 2007; GANROT *et al.*, 2007).

Nos métodos baseados na troca iônica, a zeólita mais comumente empregada devido a sua elevada afinidade com amônia é a clinoptilita. Beler-Baykal *et al.* (2004), obtiveram remoções de 98% de amônia utilizando clinoptilita, em relações de quase 1:1. Após a lavagem em água da torneira, obtiveram recuperação de 63% de amônia, resultando em uma relação de 9,73 mg de amônia por 1g da zeólita, indicando a potencialidade de tal técnica e a necessidade de aprimoramento do método de lavagem para recuperação do nutriente adsorvido. Similarmente, Lind *et al.* (2000) combinaram a aplicação de zeólita para recuperar nitrogênio e precipitação de estruvita para fósforo, obtendo as eficiências máximas com dosagens de 15g/L de clinoptilita e 0,5 mg/L

de MgO, resultando em um concentrado com 10 g/m<sup>3</sup> e 1000 g/m<sup>3</sup>, respectivamente, de fósforo e nitrogênio.

A osmose reversa, método conhecido no tratamento avançado de água, já foi pesquisada visando a recuperação de nutrientes da urina. Maurer *et al.* (2006) afirma que tal técnica mantém 15% do nitrogênio e 98% do fósforo presente na urina contido no concentrado. No entanto, Asmus (2009) aponta que é um processo que demanda muita energia e não recupera nitrogênio com eficiência, que acaba volatilizado.

A técnica de concentração dos nutrientes através do congelamento se trata de um processo lento no qual a capacidade da água em formar cristais puros é responsável pela concentração da urina (LIND *et al.*, 2001). Tais pesquisadores provaram em seus experimentos que 80% dos nutrientes podem ser concentrados em 25% do volume original da urina através do seu congelamento em uma temperatura de -14°C.

Em pesquisa inovadora utilizando Sistemas Bioeletroquímicos (BES), Kuntke *et al.* (2012) atestaram a possibilidade de recuperação de energia e amônia presentes na urina através da utilização de células de combustíveis microbianas, utilizando-se membrana permeável e cátodo de “ar” na captação da amônia volatilizada que, em seguida, é absorvida em meio ácido.

De maneira geral, as possibilidades de tratamento apresentados acima e na Tabela 4 demandam grandes quantidades de energia, produtos químicos e investimentos de implantação e operação, com exceção dos concentradores solares e da simples estocagem da urina durante meses. No entanto, pesquisas a cerca de novas técnicas mais econômicas e sustentáveis continuam sendo desenvolvidas e aprimoradas.

Gulyas *et al.* (2014) investigaram o potencial de uma tecnologia de baixa complexidade, sem requerimentos energéticos e com baixo insumos químicos, que opera a temperaturas elevadas (74°C – 80°C) através da absorção de radiação solar. Tal experimento se trata, de uma combinação de concentrador solar com a técnica “air stripping”, na qual a amônia volatilizada é absorvida em um recipiente com ácido sulfúrico, formando sulfato de amônia, no entanto sem qualquer necessidade de bombeamento de ar pressurizado, como usualmente é realizado.

Liu *et al.* (2015) avaliaram os aspectos econômicos e operacionais de aplicação da técnica “air stripping” no tratamento de urina humana, visando a recuperação de 80% da amônia contida em 1 m<sup>3</sup> de urina, em condições de pH igual a 9,3 e 10. Os resultados

apontam o potencial da aplicabilidade de tal técnica em larga escala para recuperação de nitrogênio como sulfato de amônia, em especial se aplicada posteriormente a precipitação de estruvita, possibilitando também a recuperação do fósforo. O somatório de todos os custos inerentes ao processo, avaliados para a recuperação 80% de amônia em pH 9,3, restou estabelecido como \$21,65 dólares/m<sup>3</sup> de urina.

A potencialidade da combinação de diferentes técnicas para recuperação conjunta de nitrogênio e fósforo restou evidenciada no sistema piloto de Antonini *et al.* (2011), implantado na Universidade de Can Tho no Vietnã, através do qual a combinação da técnica “air stripping” com precipitação de estruvita resultou em eficiências de recuperação iguais a 94% e 98%, respectivamente, de nitrogênio e fósforo, apesar do longo período de tratamento e da significativa demanda energética constatada.

Similarmente, Pradhan *et al.* (2017) avaliaram em laboratório as eficiências de recuperação de nitrogênio e fósforo em 700 mL de urina não diluída, através da combinação de precipitação de estruvita seguida de “air stripping”, resultando na recuperação de 99% de P e 85-99% de N, e subsequente produção de fertilizantes sólidos distintos, com 1,5% P e 13% N, respectivamente. Na mesma pesquisa, foi realizada uma avaliação econômica referente a aplicação de tal técnica em 1 m<sup>3</sup> de urina não diluída, a partir da qual estimou-se a possibilidade de lucro de € 2,25, aproximadamente R\$ 10,00.

Estudos recentes de Simha *et al.* (2017) avaliaram o potencial de recuperação de nitrogênio de urina através da utilização de cascas de coco carbonizadas como adsorventes, obtendo resultados de recuperação de até 90% de ureia e múltiplos reusos da coluna de adsorção. Apontaram ainda que, considerando uma geração media anual de 500 litros de urina por pessoa, tal técnica é capaz de recuperar anualmente 4,5 kg de nitrogênio na forma de ureia, per capita.

Em pesquisas atuais e inovadoras, Senecal, Vinneras (2017) utilizaram cinzas de madeira como reagente alcalinizante para inibir a hidrólise da ureia e auxiliar na sua desidratação, reduzindo o volume em 95% e preservando 90% do nitrogênio. Tal método possibilitou a produção de um fertilizante em pó de valor monetário expressivo, com concentrações de 7,8% de nitrogênio, 2,5% de fósforo e 10,9% de potássio.

### **3.3.2. Remoção de micropoluentes**

Apesar de garantidas parcialmente a recuperação de nutrientes e redução de volume, de modo que se obtenha um produto de transporte fácil, seguro e econômico, nenhuma das alternativas identificadas asseguram a degradação total dos micropoluentes (hormônios e fármacos) presentes na urina humana. Para a remoção de micropoluentes, faz-se necessária a utilização de processos onerosos e em muitos casos inviáveis, como ozonização e irradiação ultravioleta (Maurer et al., 2006).

Sob este prisma, vale evidenciar a pesquisa conduzida por Souza (2013), na qual foi avaliada a remoção de antibióticos (amoxicilina e cefalexina) a partir da utilização de processos oxidativos avançados com o emprego de peróxido de hidrogênio e luz ultravioleta, resultando em eficiências de remoção próximas a 100%.

Cabe ressaltar ainda o potencial de degradação de micropoluentes através da simples exposição ao sol, ou fotodegradação, cuja aplicação já foi pauta de diversas pesquisas envolvendo o tratamento de água, podendo-se citar os trabalhos de Buser et al (1998), Andreozzi et al. (2003) e Doll e Frimmel (2003).

Portanto, uma hipótese válida e provável de se considerar em relação às pesquisas que envolvem a utilização da radiação solar no tratamento de urina, refere-se ao seu potencial de degradação de micropoluentes. Não obstante, faz-se necessária a condução de experimentos nesta linha para assegurar a validade da tal hipótese, visto que a urina armazenada tende a ficar com um aspecto mais turvo e com coloração escurecida, o que diminuiria significativamente a eficiência da degradação solar.

### **3.4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE URINA HUMANA**

Há muitos anos que a urina tem sido utilizada como fertilizante para jardins e hortaliças ao redor do mundo, apesar de poucos os casos em que houve documentação de tal prática (JÖNSSON et al., 2004). As figuras 8, 9 e 10, a seguir, apresentam casos de aplicação em pequena e larga escala, em jardins e em extensos campos agrícolas.



Figura 8 – Cassis, groselhas e rosas fertilizadas com urina em Uppsala, na Suécia.



Fonte: JÖNSSON et al. (2004)

Figura 9 - Exemplo de aplicação de urina com regador de água, na Suécia.



Fonte: JÖNSSON et al. (2004)

Figura 10 – Aplicação em larga escala de urina em culturas de cevada.



Fonte: JÖNSSON et al. (2004)

Em testes realizados na Etiópia, a produção de culturas de beterraba branca fertilizadas com urina foram 4 vezes maiores do que sem qualquer fertilização (SUNDIN, 1999). A figura 11 apresenta o resultado do experimento realizado por Morgan (2003), no qual a produção de espinafre fertilizado com urina foi aproximadamente 7 vezes maior do que a produção sem qualquer fertilização, com valores respectivos de 350g e 50g.

Figura 11: Espinafre cultivado sem fertilização, à esquerda, e fertilizado com urina diluída em 1:3, à direita.



Fonte: MORGAN (2003)

No México, foi testado em estuda controlada o uso de urina na fertilização de alfaces. Foram comparados os resultados de fertilização apenas com urina, composto (fezes tratadas), mistura de composto e urina, e sem qualquer fertilização. A fertilização com apenas urina obteve maiores produções, devido à alta disponibilidade de nitrogênio. Resultados similares foram relatados para outros tipos de culturas (JÖNSSON et al., 2004).

Diante do exposto, mostra-se evidente o potencial que a urina possui em substituir parcialmente a utilização de fertilizantes químicos no cultivo agrícola, fazendo-se necessário o aprimoramento das tecnologias existentes para viabilizar investimentos e tornar o produto final mais seguro e competitivo no mercado, no caso de aplicação em larga escala. Nas aplicações em culturas para fins de subsistência ou paisagismo, a fertilização com urina mostra-se bastante benéfica e proveitosa ao desenvolvimento das plantas.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Na presente pesquisa científica, buscou-se investigar tecnologias de tratamento de urina humana existentes, com enfoque nas alternativas que possibilitam o seu reuso agrícola, de modo a estimar os benefícios que tal prática pode trazer à produção alimentar de uma pequena propriedade rural.

A partir da revisão bibliográfica, foram identificadas diversas técnicas de tratamento de urina humana, em especial as que tratam da recuperação de nutrientes com vistas ao reuso agrícola. Dentre as alternativas identificadas, selecionou-se a de maior viabilidade de implantação em localidades rurais, de modo a subsidiar a definição do cenário de reuso de águas amarelas na área de estudo proposta.

A definição de tal cenário contempla o dimensionamento do sistema de reuso de águas amarelas; o enquadramento legal e os aspectos quali-quantitativos do biofertilizante produzido; a estimativa de recuperação de macronutrientes; a quantidade de alimento passível de ser produzido e o número de pessoas que podem ser alimentadas com tal produção alimentar.

Para tanto, foi aplicada uma metodologia que consiste dos seguintes procedimentos gerais:

- Levantamento de informações e coleta de dados secundários;
- Caracterização da área de estudo;
- Seleção da alternativa de tratamento de urina humana;
- Definição do cenário de reuso de águas amarelas.

#### **4.1. LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES E COLETA DE DADOS SECUNDÁRIOS**

O levantamento e coleta de dados consistem de pesquisas bibliográficas extensas de obras científicas nacionais e internacionais, buscando respaldo em mecanismos de pesquisa online como Science Direct, Sci-Hub, e também no portal de periódicos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A busca sobre o tema em pauta utilizou-se de expressões como “Ecological Sanitation”, “Urine treatment”, “Nutrient Recovery from Human Urine”, por representarem as expressões mais empregadas e difundidas na literatura. No entanto, foram utilizadas também expressões como “Reuso de Urina Humana” e “Tratamentos de Urina Humana”. Os critérios de inclusão de dados restaram limitados a trabalhos acadêmicos, livros, artigos científicos, proceedings, documentos governamentais e institucionais.

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo da presente pesquisa trata-se de um assentamento de reforma agrária inserido no meio rural do município de Abelardo Luz, no Oeste do Estado de Santa Catarina. Os assentamentos rurais de Abelardo Luz encontram-se distribuídos ao longo de mais de 20 mil hectares de terra, sendo a sede urbana do município situada a uma latitude de 26°33'53'' Sul e a uma longitude 52°19'42'' Oeste, em altitude média de 760 metros (PREFEITURA MUNICIPAL DE ABELARDO LUZ-SC, 2013 apud SESSI, 2013).

A seleção do município de Abelardo Luz se deu em virtude do elevado número de assentamentos existentes, quando comparado com os outros municípios de Santa Catarina. Segundo os dados do INCRA (2018), existem atualmente no município 22 assentamentos constituídos desde os anos de 1986 e 2007, sendo eles: Papuan I e II, Sandra, Santa Rosa I, II e III, Capão Grande, Volta Grande, Indianópolis, Juruá, Recanto Olho D'água, São Sebastião, Três Palmeiras, 13 de Novembro, Novo Horizonte, José Maria, Bela Vista, Nova Araçá, João Batista, Nova Aurora, Roseli Nunes e Maria Silveston.

Conforme IBGE (2016), Abelardo Luz possui uma área de 953,06 quilômetros quadrados de extensão, compostos por belos campos e planícies onduladas que propiciam o desenvolvimento de atividades agrossilvopastoris e a mecanização das lavouras. Abelardo Luz é reconhecido como a capital Nacional da Semente de Soja, ocupando a posição de líder na produção de soja e milho em Santa Catarina.

O município de Abelardo Luz está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó, que abrange uma área total de 8295,7 quilômetros quadrados e é a principal constituinte da Região Hidrográfica do Meio Oeste. O rio Chapecó percorre 19 municípios ao longo de toda sua extensão, até desaguar no rio Uruguai, sendo o primeiro deles o município de Abelardo Luz.

A população estimada de Abelardo Luz é de 17.100 pessoas, das quais 9.570 restam domiciliadas em área urbana e 7.530 em meio rural, sendo que apenas 12,4% dos domicílios são atendidos adequadamente por serviços de esgotamento sanitário (IBGE, 2010). No entanto, com financiamento do Governo Federal e outras entidades, a Companhia Catarinense de Saneamento implantou o sistema de esgotamento sanitário Abelardo Luz, que opera na área urbana do município atualmente com índice de atendimento de coleta e tratamento de 95%, ao passo que os outros 5% referem-se a soluções individuais. O SES

Abelardo Luz despeja o efluente tratado no Rio Chapecó, com uma carga orgânica estimada de 149,1 kg DBO/dia (ANA, 2017).

De acordo com dados do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Abelardo Luz é o município catarinense com maior número de famílias assentadas, representando uma das maiores concentrações de assentamentos de reforma agrária do Brasil. Aproximadamente 1.159 famílias assentadas pelo INCRA estão distribuídas em pelo menos 21 projetos de assentamentos de trabalhadores rurais, abrangendo uma área consolidada total de 19.146 hectares, aproximadamente. A tabela 5 traz um levantamento dos assentamentos existentes no município de Abelardo Luz, como também informações básicas acerca destes.

Tabela 6 – Assentamentos de reforma agrária existentes no município de Abelardo Luz.

<b>Nome do Assentamento</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Famílias Assentadas</b>	<b>Capacid.</b>	<b>Data de criação</b>
Papuan I	359	24	27	14/01/1986
Sandra	1001,4	54	88	14/01/1986
Papuan II	969	51	63	01/04/1987
Santa Rosa I	1193	69	82	22/01/1987
Santa Rosa II	669	34	52	10/04/1987
Capão Grande	1285	91	91	28/06/1988
Volta Grande	1320,8	63	74	08/03/1989
Indianópolis	1313	70	90	10/01/1995
Juruá	419	38	40	21/12/1995
Recanto Olho D'água	471,4	21	25	05/08/1996
São Sebastião	323	28	32	14/10/1996
Três Palmeiras	765,3	51	70	14/10/1996
13 de Novembro	1797	90	105	26/02/1997
Novo Horizonte	765,3	51	60	11/04/1997
Jose Maria	3833,9	241	270	06/11/1997
Nova Araçá	95,0	7	7	26/07/1999
João Batista	419,4	30	30	29/11/1999
Nova Aurora	719,5	43	50	08/11/1999
Roseli Nunes	1108,2	81	84	21/08/2000
Santa Rosa III	231	16	16	31/10/2000
Maria Silveston	87,5	6	8	23/03/2002
<b>Total</b>	<b>19145,9</b>	<b>1159</b>	<b>1364</b>	

Fonte: INCRA (2018)

Os assentamentos rurais de Abelardo Luz foram criados a partir de 1986 e, através do processo de reforma agrária e da obtenção de subsídios federais por intermédio do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, abriram-se as portas ao investimento nas infraestruturas e à geração de renda pelo acesso a terra e às políticas públicas, fatos estes que mostraram-se fundamentais para o desenvolvimento da economia do município.

De acordo com INCRA (2015), os assentamentos de Abelardo Luz são responsáveis pela produção de cerca de 17 milhões de litros de leite ao ano, como também pela produção diversificada de alimentos. Ao todo, 784 famílias produzem 9.000 t/ano de milho, 604 famílias produzem 453 t/ano de feijão e 652 famílias produzem 588 t/ano de madioca. Adicionalmente, 707 famílias possuem hortas que rendem aproximadamente 107 t/ano de hortaliças. Desenvolvem-se também as atividades de piscicultura e apicultura, que resultam na produção de 86 toneladas de pescados e 4 toneladas de mel ao ano.

Apesar dos expressivos impactos que os Assentamentos Rurais geram sobre os aspectos socioeconômicos do Município de Abelardo Luz e do estado de Santa Catarina, torna-se importante destacar também as características sanitárias que predominam em tais localidades rurais, e como estas afetam os aspectos dos meios físico e biótico. A cobertura de coleta e tratamento de esgoto sanitário de Abelardo Luz resta consolidada somente no meio urbano do município, ao passo que no meio rural as comunidades utilizam o saneamento descentralizado no gerenciamento do esgoto gerado em seus domicílios.

Em virtude da inexistência de rede coletora de esgotos nas áreas rurais mais concentradas, as comunidades que vivem nos assentamentos de Abelardo Luz recorrem a soluções alternativas para o esgotamento sanitário, utilizando-se fossas sépticas e rudimentares, técnicas comumente empregadas no tratamento de esgoto no meio rural, e que em grande parte dos casos operam de maneira inadequada e sem o devido monitoramento, resultando na degradação do solo e na contaminação hídrica. Conforme IBGE, PNAD (2015), aproximadamente 33% e 50% dos domicílios situados em meio rural na região Sul do Brasil utilizam fossas rudimentares e fossas sépticas no tratamento de esgotos, respectivamente.

Diante deste cenário, propõe-se o Saneamento Ecológico como alternativa na gestão das excretas humanas, partindo da premissa básica que consiste na separação da urina e das fezes através da implantação de banheiros segregadores, de modo que as mesmas sejam direcionadas a

sistemas distintos de tratamento com subsequente reuso agrícola das águas amarelas, possibilitando o estabelecimento de um ciclo de nutrientes local e minimizando os riscos de contaminação hídrica e degradação do solo.

A escolha do assentamento rural Papuan II se deu em função da disponibilidade de dados e informações referentes a aspectos ambientais e socioeconômicos do local, como o número de famílias, a distribuição de área por família, os tipos de solos, as principais culturas desenvolvidas. Conforme Sessi (2013), o assentamento Papuan II apresenta características ambientais e morfológicas que representam a realidade da maioria dos assentamentos rurais de Abelardo Luz.

O assentamento rural Papuan II resta localizado na porção sul do município de Abelardo Luz, aproximadamente a uma distância de 12 quilômetros da sede urbana, situando-se nas coordenadas 26°38'47'' Sul e 52°12'03'' Oeste (SESSI, 2013). O assentamento Papuan II foi criado em 01 de Abril de 1987, possui uma área total de 969 hectares com capacidade máxima de 63 famílias assentadas (INCRA, 2018). Até o presente momento, restam assentadas 51 famílias, registradas junto ao INCRA, resultando em uma área média de 19,0 hectares por família.

Conforme levantamentos de campo realizados por Sessi (2013), em 2013 havia 63 famílias assentadas em Papuan II, com uma população total de 235 pessoas, resultando em uma média de 3,7 pessoas por família. Deste modo, utilizou-se na presente pesquisa, a média de 4 pessoas por família no dimensionamento do sistema de reuso de águas amarelas e nas estimativas de recuperação de macronutrientes e produção alimentar.

A integração lavoura-pecuária está presente na maior parte das propriedades rurais do assentamento Papuan II. As principais culturas de verão são o milho e a soja, o feijão é cultivado apenas para subsistência, ao passo que a atividade que mais contribui para a sobrevivência econômica das famílias assentadas é a leiteira (SESSI, 2013). A mesma autora ainda aponta que em torno de 2% da área do assentamento é utilizada para cultivos de subsistência, em especial o feijão.

A origem geológica dos solos do assentamento Papuan II é associada ao basalto, a rocha efusiva mais comum, de extrema dureza e alta densidade. De maneira geral, os solos de Papuan II tendem a ser ácidos, com pH variando entre 5,0 e 6,3, característica associada a presença de alumínio e a consequente baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas (SESSI, 2013).

### 4.3. SELEÇÃO DA ALTERNATIVA DE TRATAMENTO

De modo geral, os processos de tratamento de urina humana identificados na revisão bibliográfica mostram-se eficientes na recuperação de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e capazes de produzir fertilizantes de qualidade aceitável ou até mesmo comparável a fertilizantes industriais.

Cada um dos processos apresentam abordagens diferenciadas em relação à complexidade de tratamento e níveis tecnológicos empregados, utilizando-se de diferentes combinações dos propósitos de uma unidade de tratamento de urina humana definidos por Maurer et al. (2006).

Assim, dentre as possibilidades identificadas, tem-se que o processo de tratamento por estocagem é o mais econômico, prático e viável de se implantar em pequena escala, como em residências unifamiliares situadas em localidades rurais e próximas às culturas agrícolas, de modo que não sejam necessários dispêndios financeiros com transporte e aplicação do fertilizante produzido.

Em contrapartida, nos casos de grande escala, onde se faça necessário o transporte de grandes volumes de urina tratada em direção aos campos agrícolas para ser aplicada como fertilizante, o processo de tratamento por estocagem pode mostrar-se inviável, visto que o mesmo não prevê a redução do volume e a estabilização do nitrogênio para minimizar perdas. Nestes casos, recomenda-se a utilização de processos de tratamento que combinem técnicas de estabilização e redução de volume, de modo que toda a água constituinte da urina seja evaporada e os nutrientes concentrados, assegurando perdas mínimas de nitrogênio.

Não obstante, dadas as características da área de estudo, é cabível considerar que o tratamento por estocagem simples apresenta os aspectos mais viáveis para a implantação de um cenário de reuso de águas amarelas em cada propriedade familiar do Assentamento Rural Papuan II, de modo que sejam necessários investimentos mínimos para aquisição dos tanques de estocagem, vasos separadores de excretas e adequação das instalações hidrossanitárias, sem qualquer custo operacional do sistema.

Portanto, com base na alternativa de tratamento por estocagem e na caracterização da área de estudo, procede-se com a definição do cenário de reuso de águas amarelas.



#### 4.4. DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE REUSO DE ÁGUAS AMARELAS

A premissa principal do cenário de reuso de águas amarelas a ser definido respalda-se na hipótese de que toda urina gerada diariamente na área de estudo seja coletada, tratada e reutilizada nas culturas agrícolas locais de subsistência, sem perdas significativas que influenciem nos aspectos quali-quantitativos.

Deste modo, o cenário de reuso de águas amarelas proposto é caracterizado pela instalação de vasos separadores de excretas em todos os banheiros do assentamento Papuan II, a partir dos quais haverá a coleta segregada da urina não diluída (sem descarga), que será direcionada a sistemas individuais de transporte e reservação.

Cabe salientar, no que se refere à gestão das fezes, que as mesmas serão coletadas com descarga através dos vasos segregadores e direcionadas aos sistemas de tratamento já existentes, os quais irão operar sob menores volumes e cargas de nutrientes (N e P), visto que a urina possui em torno de 80% do nitrogênio e 50% do fósforo constituinte dos esgotos domésticos.

De tal modo, assume-se que será instalado um sistema de reuso de águas amarelas por família (ou propriedade familiar), visto que o assentamento Papuan II possui atualmente 51 famílias assentadas e distribuídas em uma área total de 969 hectares. Assim, estima-se que cada sistema irá atender uma distribuição média de 19,0 hectares por família. Conforme levantamentos realizados por Sessi (2013) e já apontados anteriormente, define-se a média de 4 pessoas por família no assentamento Papuan II.

De acordo com as recomendações de Jönsson *et al.* (2004), as tubulações que conduzirão a urina devem ter pelo menos 1% de declividade e 75 milímetros de diâmetro, de forma que previnam o acúmulo de precipitados nos ramais, escoando-os aos tanques de estocagem. Uma vez que a urina é bastante corrosiva, devem ser empregados materiais resistentes no sistema de coleta e armazenamento, como plásticos ou concretos de alta qualidade, propondo-se ao presente cenário a utilização de tubos e tanques feitos de polietileno de alta densidade (PEAD).

Cada sistema de tubulações coletoras será conectado a dois tanques de mesmo volume, possibilitando que seja efetuada a troca periódica de cada tanque quando próximo ao limite de capacidade. Após a troca do tanque cheio, este será desconectado do sistema de tubulações

e perfeitamente selado, de modo que permaneça no mesmo local durante 6 meses, contados a partir da data que recebeu a última contribuição de água amarela, assegurando a estabilização química e de patógenos pelo processo de tratamento por estocagem.

Os tanques serão feitos de PEAD, de coloração preta e perfeitamente selados, de modo que haja o mínimo de perdas de amônia por volatilização e que os efeitos da luz solar não interfiram na dinâmica química do efluente. Somente após o período de higienização que o líquido estéril será aplicado como fertilizante nas culturas agrícolas de subsistência cultivadas na área de estudo. Apesar do atestado risco de perdas de nitrogênio por volatilização da amônia nos tanques de estocagem, Jönsson *et al.* (2004) afirmam que estas podem ser facilmente minimizadas projetando o sistema de forma que impossibilite a ventilação dos tanques e tubulações através da equalização das pressões internas.

O dimensionamento do volume dos tanques se deu em função da geração anual média per capita de urina humana, definida por Magri (2013) como 549 L/hab.ano, e da periodicidade de troca dos tanques, a qual é definida a priori como 6 meses, conforme características atribuídas ao projeto, uma vez que este parâmetro independe das demais variáveis. Neste sentido, a periodicidade de troca dos tanques refere-se ao tempo de detenção hidráulico, parâmetro comumente empregado no âmbito do tratamento de água e de esgotos sanitários.

Desta forma, para o atendimento de cada família do assentamento, optou-se pela utilização de tanques capazes de reter toda a urina gerada ao longo de 6 meses, de modo que possibilite a implantação do sistema a partir da utilização de apenas 2 tanques por família, com periodicidade de troca de tanques de 6 meses, ao longo de um horizonte de projeto de 10 anos, assegurando higienização do conteúdo de um tanque enquanto o outro recebe as novas contribuições de água amarela.

Sendo assim, utilizando-se a geração anual média per capita de urina humana igual a 549 L/hab.ano, obtida por Magri (2013), calculou-se a geração per capita de urina ao longo de 6 meses, como:

$$Q_{6meses,hab} = \frac{Q_{anual,hab}}{2}$$

Considerando uma média de 4 pessoas por família, conforme levantamentos de Sessi (2013), determinou-se a geração total de urina por família ao longo de 6 meses:

$$Q_{6meses,fam} = Q_{6meses,hab} \times NPF$$

Onde:

$Q_{anual,hab}$ : volume médio de urina per capita gerado ao longo de 1 ano, em litros;

$Q_{6meses,hab}$ : volume médio de urina per capita gerado ao longo de 6 meses, em litros;

$Q_{6meses,fam}$ : volume médio de urina gerado por uma família de 4 pessoas ao longo de 6 meses, em litros;

NPF: número médio de pessoas por família.

A partir da conversão para a unidade de metros cúbicos, obteve-se o volume mínimo do tanque de estocagem de águas amarelas, necessário para armazenar toda a urina gerada ao longo de 6 meses por uma família de 4 pessoas:

$$V_{min,tanque} = Q_{6meses,fam} \times \frac{1 m^3}{1000 L}$$

Atribuindo um coeficiente de segurança de 50% para evitar possíveis sobrecargas e excedentes dos tanques de estocagem de águas amarelas, decorrentes de famílias compostas por mais de 4 pessoas, característica típica de comunidades rurais, ou em casos de eventuais visitas que as famílias venham a receber, como também em possíveis atrasos ou imprevistos durante as aplicações do biofertilizante e esvaziamento dos tanques, têm-se que:

$$V_{tanque} = V_{min,tanque} \times 1,5$$

Onde:

$V_{min,tanque}$ : volume mínimo necessário para armazenar toda a urina gerada por uma família ao longo de 6 meses;

$V_{tanque}$ : volume do tanque necessário para armazenar toda a urina gerada por uma família ao longo de 6 meses, com coeficiente de segurança de 50%.

Considerando-se tanques de volume comercial superior mais próximo, disponíveis no mercado, propõe-se a utilização de reservatórios de 2000 litros, modelo DHE2000, feitos de polietileno de alta densidade (PEAD), fabricados pela empresa Ambietel, ilustrado a seguir na Figura 12.

Figura 12 - Modelo proposto do tanque de estocagem de águas amarelas, feito de PEAD, da empresa Ambietel.



Modelo	Volume (lts)	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Diâmetro tampa (mm)
DHE2000	2000	1510	1725	1630	400

Fonte: <https://ambietel.com/pt/catalogo/reservatorios-agua-polietileno-reforcado/>

A demanda de área para locação de um único tanque, conforme as dimensões acima apontadas, foi definida através da sua projeção superficial, formando um retângulo com 1,725 m de comprimento e 1,510 m de largura. Desta forma, calculou-se a demanda de área para um único tanque como:

$$A_{tanque} = comprimento \times diâmetro$$

Conforme especificações prévias, considerando a instalação de dois tanques para o atendimento de cada família do Assentamento Rural Papuan II, definiu-se a demanda de área mínima de estocagem a partir de:

$$A_{min} = A_{tanque} \times 2$$

Considerando a necessidade de um espaço adicional para as trocas dos tanques, eventuais serviços de limpeza e manutenção, visto que a área de estocagem deve ser mantida em boas condições higiênicas, como também para os procedimentos de aplicação do biofertilizante, atribuiu-se um coeficiente de segurança de 100%. Desta forma, calculou-se a demanda total de área para estocagem de águas amarelas, por família assentada, como:

$$A_{total} = A_{min} \times 2$$

Onde:

$A_{tanque}$ : demanda de área para locação de apenas um tanque, em metros quadrados;

$A_{min}$ : demanda mínima de área de estocagem de águas amarelas, por família assentada, em metros quadrados;

$A_{total}$ : demanda total de área de estocagem de águas amarelas, por família assentada, em metros quadrados.

Visto que toda urina produzida diariamente será transformada em biofertilizante através do tratamento por estocagem, assumindo que não haja perdas no sistema que reflitam no quantitativo do volume final, tem-se que ao longo de 6 meses a produção de biofertilizante é igual à geração de urina, por família. Logo,

$$V_{6meses,fam} = Q_{6meses,fam}$$

Assim, foi determinada a produção total de biofertilizante por família, ao longo dos 10 anos de horizonte de projeto, como sendo:

$$V_{t,fam} = 2 V_{6meses,fam} \times HP$$

Similarmente, estimaram-se os volumes de biofertilizante produzido no Assentamento Rural Papuan II em cada semestre e ao longo de 10 anos, através da implantação de sistemas de reuso de águas amarelas para atender as 51 famílias atualmente assentadas na área de estudo:

$$V_{6meses} = V_{6meses,fam} \times NTF$$

$$V_{tbf} = 2 V_{6meses} \times HP$$

Onde:

$V_{6meses,fam}$ : volume de biofertilizante produzido semestralmente por família, em litros;

$V_{t,fam}$ : volume de biofertilizante produzido por família, ao final do projeto, em litros;

$V_{tbf}$ : volume total de biofertilizante produzido no assentamento Papuan II, ao final do projeto, em litros;

NTF: número total de famílias do assentamento Papuan II;  
 HP: horizonte de projeto, em anos.

A partir de tais definições e hipóteses, pôde-se determinar a demanda de área necessária para alocar os tanques de estocagem de águas amarelas, por propriedade familiar, e a quantidade de biofertilizante produzido ao longo do horizonte de projeto. No que tange aos aspectos qualitativos (NPKS), utilizaram-se os teores de 6,8/0,5/1,8/0,5% NPKS obtidos por Magri (2013) em seu sistema piloto de estocagem de urina humana, de forma a caracterizar o biofertilizante em termos legais e discorrer acerca de seu potencial agrônomo. O enquadramento legal foi embasado na Instrução Normativa nº 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

A estimativa da quantidade de macronutrientes passíveis de serem reintroduzidos no solo do assentamento Papuan II foi realizada com base nos dados apresentados no estudo de Jönsson e Vinneras (2004), dispostos a seguir na Tabela 7.

Tabela 7 - Estimativa dos nutrientes excretados per capita em diferentes países.

País		Nitrogênio kg/hab.ano	Fósforo kg/hab.ano	Potássio kg/hab.ano
<b>China</b>	Total	4,0	0,6	1,8
	Urina	3,5	0,4	1,3
	Fezes	0,5	0,2	0,5
<b>Haiti</b>	Total	2,1	0,3	1,2
	Urina	1,9	0,2	0,9
	Fezes	0,3	0,1	0,3
<b>India</b>	Total	2,7	0,4	1,5
	Urina	2,3	0,3	1,1
	Fezes	0,3	0,1	0,4
<b>África do Sul</b>	Total	3,4	0,5	1,6
	Urina	<b>3,0</b>	<b>0,3</b>	<b>1,2</b>
	Fezes	0,4	0,2	0,4
<b>Uganda</b>	Total	2,5	0,4	1,4
	Urina	2,2	0,3	1,0
	Fezes	0,3	0,1	0,4

Fonte: Jönsson et al. (2004)

Visto que a alimentação das comunidades rurais brasileiras são constituídas basicamente por grãos, leguminosas e carnes, de maneira similar à da população da África do Sul, foram utilizadas na presente pesquisa as estimativas de excreção de nutrientes per capita referentes à este país.

Desta forma, na estimativa da quantidade de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) passíveis de serem reintroduzidos no solo do assentamento Papuan II através do cenário de reuso de águas amarelas, foram utilizados os seguintes dados:

Tabela 8: Dados utilizados no cálculo da quantidade de nutrientes (NPK) passíveis de serem recuperados.

<b>Nitrogênio</b> <b>kg/hab.ano</b>	<b>Fósforo</b> <b>kg/hab.ano</b>	<b>Potássio</b> <b>kg/hab.ano</b>
3,0	0,3	1,2

Através da associação das estimativas apontadas na Tabela 8 com a média de pessoas por família assentada na área de estudo, foram estimadas as quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) recuperadas semestralmente e ao longo do horizonte de projeto por propriedade familiar, da seguinte forma:

$$\begin{aligned}m_N &= 1,5 \times NPF \\m_P &= 0,15 \times NPF \\m_K &= 0,6 \times NPF\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_{HP} &= 2m_N \times HP \\P_{HP} &= 2m_P \times HP \\K_{HP} &= 2m_K \times HP\end{aligned}$$

Onde:

$m_i$ : massa de nutriente (N, P ou K) recuperada semestralmente por propriedade familiar, em quilogramas;

$i_{HP}$ : massa de nutriente (N, P ou K) recuperada por propriedade familiar ao final de 10 anos, em quilogramas;

NPF: número médio de pessoas por família;

HP: horizonte de projeto, em anos.

Definiram-se ainda, com base nas estimativas de macronutrientes recuperados semestralmente por propriedade familiar, a relação entre a disponibilidade quantitativa dos mesmos e a área de subsistência a ser fertilizada, utilizando-se 19,0 hectares como área média familiar no assentamento Papuan II.

Assim, conforme levantamentos de Sessi (2013), aproximadamente 2% das áreas são utilizadas no cultivo de subsistência, definindo-se então a área de subsistência da seguinte forma:

$$A_{subs} = A_{media} \times 2\%$$

Deste modo, calculou-se a relação entre a massa de macronutrientes (NPK) e a área de subsistência a ser fertilizada, de modo a avaliar se as demandas nutricionais da principal cultura, apontada por Sessi (2013) como feijão, podem ser supridas pelo ofertado pelo biofertilizante, assegurando o desenvolvimento adequado e o sucesso das colheitas. Para fins da presente pesquisa, assumiu-se então que toda área de subsistência é utilizada no cultivo de feijão. As demandas nutricionais dos feijoeiros utilizadas na presente pesquisa seguem as recomendações mínimas indicadas por EMBRAPA (2012).

As relações entre a massa de macronutrientes e a área de subsistência a ser fertilizada foram definidas a partir das seguintes equações:

$$M_i = \frac{m_i}{A_{subs}}$$

Onde:

$A_{subs}$ : área utilizada para o cultivo de subsistência, em hectare;

$m_i$ : massa de nutriente (N, P ou K) recuperada semestralmente por propriedade familiar, em quilogramas;

$M_i$ : relação entre a disponibilidade semestral de nutrientes e a área de subsistência a ser fertilizada; em quilogramas por hectare.

Na sequência, foram comparadas a disponibilidade de nutrientes por hectare de subsistência com as recomendações mínimas da EMBRAPA, buscando-se avaliar se tal aplicação é válida e suficiente para suprir as demandas nutricionais do feijoeiro, possibilitando proceder com as estimativas da produção alimentar oriunda especificamente do reuso de águas amarelas no Assentamento Rural Papuan II.



Caso a disponibilidade de nutrientes mostre-se insuficiente para atender as demandas do feijoeiro por propriedade familiar, serão propostas alternativas de culturas que podem ser fertilizadas com urina tratada, de modo que sejam cultivadas em hortas familiares de cada propriedade da área de estudo.

A definição das áreas, os períodos de aplicação e as dosagens de biofertilizante referentes a cada uma das culturas alternativas propostas se baseiam nas pesquisas de Klingel (2012). Após definidas as áreas de milho, batata e trigo que podem ser fertilizadas com a produção semestral de biofertilizante, por propriedade familiar, utilizaram-se as produtividades estaduais médias apontadas por EPAGRI (2017), EPAGRI (2018) e Weber et al. (2015) para estimar a produção alimentar anual em toda área de estudo.

Em seguida, a partir do banco de metadados FAOSTAT (2013) da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations), utilizaram-se dados referentes ao consumo médio anual per capita de trigo, milho e batata no Brasil, de forma a estimar a quantidade de pessoas que podem ser alimentadas anualmente através do cultivo de hortas familiares fertilizadas com biofertilizante proveniente do cenário de reuso de águas amarelas proposto no presente estudo.

No final, são apresentadas recomendações gerais de segurança e reuso agrícola da urina tratada por estocagem no Assentamento Rural Papuan II, embasadas nas diretrizes propostas por Klingel (2012) e Jönsson et al. (2004).

Todos os resultados obtidos nesta etapa da pesquisa encontram-se dispostos em tabelas e textos descritivos no capítulo Resultados e Discussões.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1. CENÁRIO DE REUSO DE ÁGUAS AMARELAS**

Uma vez estabelecido o processo de estocagem de urina humana como a alternativa de maior viabilidade de implantação nas propriedades familiares que compõem o Assentamento Rural Papuan II, tendo em vista seus aspectos já percorridos, procede-se com o dimensionamento do sistema de reuso de águas amarelas, a definição dos volumes e do enquadramento legal do biofertilizante produzido, as estimativas de recuperação de macronutrientes (NPK) e da produção

alimentar e recomendações gerais de reuso agrícola de urina humana tratada por estocagem.

### 5.1.1. Dimensionamento do sistema de reuso de águas amarelas

Utilizando-se a geração per capita anual de urina igual a 549 L/hab.ano, tem-se que a geração per capita semestral equivale a:

$$Q_{6meses,hab} = \frac{Q_{anual,hab}}{2}$$

$$Q_{6meses,hab} = \frac{549}{2}$$

$$Q_{6meses,hab} = 274,5 \text{ litros}$$

Considerando uma média de 4 pessoas por família, determina-se a geração total de urina por família ao longo de 6 meses:

$$Q_{6meses,fam} = Q_{6meses,hab} \times NPF$$

$$Q_{6meses,fam} = 274,5 \times 4$$

$$Q_{6meses,fam} = 1098 \text{ litros}$$

Convertendo-se o valor acima para seu equivalente em metros cúbicos, obtém-se o volume mínimo do tanque de coleta e estocagem de águas amarelas, necessário para armazenar toda a contribuição de urina oriunda de uma família de 4 pessoas ao longo de 6 meses.

$$Q_{6meses,fam} = 1098 \text{ L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$Q_{6meses,fam} = 1,098 \cong 1,1 \text{ m}^3$$

$$V_{min,tanque} = 1,1 \text{ m}^3$$

Atribui-se ainda um coeficiente de segurança de 50% para evitar extravasamentos e sobrecargas do sistema, obtendo o seguinte valor:

$$V_{tanque} = 1,1 \times 1,5$$

$$V_{tanque} = 1,65 \text{ m}^3$$

Utilizando-se os tanques da empresa Ambietel, conforme definido no item 4.4, têm-se como dimensões características do tanque o comprimento de 1725 mm e diâmetro de 1510 mm. Deste modo, a área ocupada por um tanque equivale a:

$$A_{tanque} = 1,725 \times 1,510$$

$$A_{tanque} = 2,60 \text{ m}^2$$

Visto que serão necessários dois tanques por propriedade familiar para manter uma periodicidade de troca de tanque a cada 6 meses, define-se a demanda de área mínima do local de armazenamento dos tanques de águas amarelas como:

$$A_{min} = A_{tanque} \times 2$$

$$A_{min} = 2,60 \times 2$$

$$A_{min} = 5,2 \text{ m}^2$$

Tendo em vista a necessidade de um espaço excedente para as trocas dos tanques, eventuais serviços de limpeza e manutenção, como também para os procedimentos de aplicação do biofertilizante, atribui-se um coeficiente de 100% a demanda de área mínima para armazenar os tanques de águas amarelas.

$$A_{total} = A_{min} \times 2$$

$$A_{total} = 5,2 \times 2$$

$$A_{total} = 10,4 \text{ m}^2$$

Sendo assim, define-se como 10 m<sup>2</sup> a área de locação do sistema de estocagem de águas amarelas, por família assentada, ou propriedade familiar, no Assentamento Rural Papuan II.

### 5.1.2. Enquadramento legal e aspectos quali-quantitativos do biofertilizante

Visto que toda urina produzida diariamente será transformada em biofertilizante através do tratamento por estocagem, assumindo que as perdas do sistema durante a estocagem e no momento de aplicação nas culturas agrícolas sejam desprezíveis, tem-se que ao longo de 6 meses a produção de biofertilizante é igual à geração de urina, por família. Logo,

$$V_{6meses,fam} = Q_{6meses,fam}$$

$$V_{6meses,fam} = 1098 \text{ litros}$$

Tal valor reflete a quantidade de biofertilizante que será aplicada uma vez por ano nas culturas de subsistência de cada propriedade familiar do Assentamento Rural Papuan II. Sendo assim, tem-se que por ano e ao final do horizonte de projeto, cada propriedade familiar terá produzido 2196 e 21.960 litros de biofertilizante, respectivamente.

A seguir, são apresentados na Tabela 8 os volumes anuais e semestrais de biofertilizante produzidos por propriedade familiar e no Assentamento Rural Papuan II.

Tabela 9 - Volumes totais de biofertilizante produzidos no Assentamento Rural Papuan II.

<b>Período e Extensão</b>	<b>Volume de Biofertilizante (L)</b>
Semestral por propriedade familiar	1098 L
10 anos por propriedade familiar	21.960 L
Semestral em Papuan II	55.998 L
10 anos em Papuan II	1.119.960 L

A aferição das características qualitativas do biofertilizante produzido se dá através dos valores obtidos por Magri (2013) no seu sistema piloto de armazenamento de urina humana. Assim, estima-se que os teores de macronutrientes (NPKS) do biofertilizante produzido anualmente em cada propriedade familiar do Assentamento Rural

Papuan II sejam similares aos valores de 6,8/0,5/1,8/0,5% NPKS, respectivamente.

Embora não haja regulamentação específica para o reuso agrícola de urina humana no Brasil, faz-se importante buscar algum enquadramento legal para viabilizar a sua aplicação agrícola como fertilizante.

A Resolução CONAMA 375/2006 aborda o reuso de lodo de esgoto e produtos derivados na agricultura, embora não apresente diretrizes acerca da reutilização de excretas humanas. Por outro lado, a regulamentação de fertilizantes orgânicos e seus teores mínimos e máximos de macronutrientes, micronutrientes e elementos traços se dá por meio da Instrução Normativa 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (IN 25/2009 MAPA).

Conforme o artigo 2º da IN 25/2009 MAPA, o biofertilizante proveniente da urina tratada enquadra-se na Classe D, referente à "fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura" (MAPA, 2009).

A referida instrução normativa não apresenta teores mínimos de fósforo e potássio na composição de fertilizantes líquidos classe "D", mas define o teor mínimo percentual de 0,5% para nitrogênio total e enxofre. Desta forma, considerando os teores de 6,8% N e 0,5% S, cabe destacar que o biofertilizante produzido atende aos requisitos de macronutrientes da IN 25/2009.

Em comparação com a maioria fertilizantes orgânicos comerciais, o referido biofertilizante apresenta teores de nitrogênio (6,8%) comparáveis ou inclusive mais elevados. Como exemplo, cabe citar o fertilizante Fish Fértil K, registrado pelo Ministério como produto orgânico, e que apresenta teores de 0,8% de nitrogênio.

Os teores de nitrogênio da urina conferem a ela, na verdade, características de fertilizantes nitrogenados, sendo mais cabível compará-la com produtos similares. Sob este prisma, cabe citar os fertilizantes a base de esterco de bovinos, denominados comercialmente de Agrobom e Vairo, produzidos pela EMBRAPA, os quais apresentam em média 7% de nitrogênio e 0,5% de fósforo (SILVA et al., 2007). Destaque seja dado que, para atingir tais percentuais, faz-se necessário o enriquecimento com diversos compostos, como farinha de osso, cinzas, melão e pó de rocha.

Faz-se importante ressaltar ainda uma questão referente ao risco de salinização de solos proveniente do reuso de produtos derivados de esgotos sanitários. Em virtude da elevada concentração de sais na urina humana, a sua condutividade elétrica mostra-se maior do que os valores comumente mensurados em esgotos sanitários (MAGRI, 2013). Diante de tal característica, é imprescindível atentar-se a quantidade aplicada, devendo esta ser controlada e monitorada em conjunto com os aspectos químicos do solo ao longo do tempo, para assegurar os benefícios desta prática de reuso.

Portanto, torna-se de suma importância que o agricultor responsável pelo reuso do biofertilizante atente-se aos procedimentos de coleta e aplicação agrícola, visando o aproveitamento máximo e seguro do potencial agrônômico que tal produto detém.

Neste contexto, são apresentadas ao final desta seção (item 5.2.4) recomendações de reuso agrícola de urina humana no Assentamento Rural Papuan II, contemplando questões desde a estocagem à aplicação nas culturas locais.

### **5.1.3. Estimativa de recuperação de macronutrientes e produção alimentar**

Utilizando-se as estimativas indicadas na Tabela 8: Dados utilizados no cálculo da quantidade de nutrientes (NPK) passíveis de serem recuperados. e o número médio de pessoas por família igual a 4, é possível inferir as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio passíveis de serem reintroduzidos ao meio ambiente através do reuso agrícola do biofertilizante produzido.

Deste modo, considerando perdas mínimas de nitrogênio durante a estocagem e na aplicação, cada propriedade familiar recupera por semestre, as seguintes quantidades de nitrogênio, fósforo, e potássio, respectivamente:

$$m_i = q_i \times NPF$$

$$m_N = 1,5 \times 4$$

$$m_N = 6 \text{ kg N}$$

$$m_P = 0,15 \times 4$$

$$m_P = 0,6 \text{ kg P}$$

$$m_K = 0,6 \times 4$$

$$m_K = 2,4 \text{ kg K}$$

Ao final do horizonte de projeto (10 anos), as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio que terão sido reintroduzidos ao meio ambiente como nutrientes, enriquecendo o solo e as culturas agrícolas de subsistência de cada propriedade familiar do Assentamento Rural Papuan II, são:

$$i_{HP} = 2m_i \times HP$$

$$N_{HP} = 2m_N \times HP$$

$$N_{HP} = 12 \times 10$$

$$N_{HP} = 120 \text{ kg N}$$

$$P_{HP} = 2m_P \times HP$$

$$P_{HP} = 1,2 \times 10$$

$$P_{HP} = 12 \text{ kg P}$$

$$K_{HP} = 2m_K \times HP$$

$$K_{HP} = 4,8 \times 10$$

$$K_{HP} = 48 \text{ kg K}$$

Importante frisar que tais quantidades de macronutrientes serão reintroduzidas ao meio ambiente em dois momentos distintos, visto que o conteúdo de cada tanque de estocagem será aplicado uma vez ao ano, resultando em duas aplicações anuais. A exceção se dá no primeiro ano, em que será reutilizado apenas o conteúdo do tanque que receber os primeiros 6 meses de contribuição de águas amarelas.

Deste modo, assumindo que o período de primeira coleta de águas amarelas seja iniciado no primeiro dia do ano, após 6 meses haverá a troca de tanques e a estocagem ao longo dos próximos 6 meses depois da troca. Assim, o conteúdo do tanque estocado estará apto a ser aplicado nas culturas de subsistência ao final do primeiro ano de projeto, durante o verão.

Logo após o esvaziamento do primeiro tanque, o mesmo será reinstalado no respectivo sistema de coleta de águas amarelas e o conteúdo do outro tanque será estocado durante 6 meses. Neste caso, a aplicação do conteúdo do segundo tanque se dará durante a metade do segundo ano de projeto, na época de inverno. Ao final deste mesmo ano, será aplicado o conteúdo do primeiro tanque.

Sendo assim, a partir do segundo ano de projeto, haverá sempre duas aplicações do biofertilizante produzido a partir da estocagem das águas amarelas geradas por propriedade familiar. Uma aplicação se dará sempre na metade do ano, no período de inverno, ao passo que a outra será sempre ao final do ano, durante o verão.

Portanto, cada aplicação contribuirá com metade das quantidades de nitrogênio ( $m_N$ ), fósforo ( $m_P$ ) e potássio ( $m_K$ ) recuperadas anualmente por propriedade familiar. Tendo em vista a área média de 19,0 ha por propriedade familiar, assumindo ainda que apenas 2% de tal área é utilizada como culturas de subsistência, conforme levantamentos

de Sessi (2013), tem-se que a área a ser aplicada o biofertilizante produzido equivale a:

$$A_{subs} = 19,0 \times 2\%$$

$$A_{subs} = 0,38 \text{ hectares}$$

De tal modo, as quantidades estimadas de macronutrientes (NPK) por hectare, a serem reintroduzidos semestralmente nas culturas de subsistência de cada propriedade familiar que compõe o Assentamento Rural Papuan II, são as seguintes:

$$M_i = \frac{m_i}{A_{subs}}$$

$$M_N = \frac{6}{0,38}$$

$$M_P = \frac{0,6}{0,38}$$

$$M_K = \frac{2,4}{0,38}$$

$$M_N = 15,8 \frac{kgN}{ha}$$

$$M_P = 1,6 kg \frac{P}{ha}$$

$$M_K = 6,3 kg \frac{K}{ha}$$

A seguir são apresentadas na tabela 13 as quantidades de macronutrientes (NPK) recuperadas por propriedade familiar e no Assentamento Papuan II, em cada semestre e ao final do horizonte de projeto.

Considerando que 51 famílias residem atualmente no Assentamento Rural Papuan II, as quantidades de macronutrientes recuperadas em toda a área de estudo, por semestre e ao final do horizonte de projeto, foram obtidas multiplicando-se os valores referentes às propriedades familiares por 51.

Na mesma tabela, são apresentadas as massas de NPK a serem aplicadas semestralmente por área de cultura de subsistência em cada propriedade familiar, de forma que possibilite a comparação com recomendações mínimas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para culturas de feijão. Ressalta-se que, conforme apontamentos de Sessi (2013), a principal cultura de subsistência é a de feijão, leguminosa de alto valor proteico cujo cultivo demanda elevadas quantidades de nitrogênio e fósforo.



Tabela 10 - Quantidades totais e por hectare de subsistência de macronutrientes (NPK) recuperados no Assentamento Rural Papuan II.

<b>Período e Extensão</b>	<b>Massa de NPK total (kg)</b>	<b>NPK por hectare de subsistência (kg/ha)</b>	<b>Recomendações mínimas para culturas de feijão (kg/ha)</b>
Semestral por propriedade familiar	6/0,6/2,4	15,8/1,6/6,3	60/60/30*
10 anos por propriedade familiar	120/12/48	*EMBRAPA (2012)	
Semestral em Papuan II	306/30,6/122,4		
10 anos em Papuan II	6.120/612/2.448		

A partir da tabela 9, pode-se avaliar que as demandas de macronutrientes para o desenvolvimento propício de culturas de feijão são incomparáveis com o ofertado pelo biofertilizante, de modo que se façam necessárias a utilização de medidas complementares para buscar o sucesso do cultivo de feijoeiros, como a adubação. Não obstante, visto que a prática de cultivo familiar para subsistência não demanda elevadas produtividades, a aplicabilidade da urina tratada como fertilizante de culturas de feijoeiros não precisa ser descartada.

Entretanto, tendo em vista que as demandas nutricionais para o desenvolvimento dos feijoeiros são bastante elevadas em comparação a outros tipos de culturas, há de se considerar alternativas de aplicação do biofertilizante, em especial nas culturas que não apresentam requisitos tão elevados, de modo a se obter maiores proveitos da prática de reuso de águas amarelas.

Deste modo, propõe-se a aplicação alternativa do biofertilizante em outros tipos de culturas, cujas demandas nutricionais sejam supridas pela urina tratada, que possam vir a ser cultivadas em hortas familiares em cada propriedade do Assentamento Rural Papuan II.

Sob este prisma, apresenta-se a seguir a tabela 10, que determina as áreas mínimas de diferentes culturas capazes de serem fertilizadas dada uma certa quantidade de urina tratada. A tabela 11 especifica os períodos de aplicação da urina e as dosagens, para cada uma das culturas.

Tabela 11 – Áreas mínimas de culturas que podem ser fertilizadas com volumes específicos de urina tratada.

<b>Cultura</b>	<b>10 L</b>	<b>20 L</b>	<b>50 L</b>	<b>1 m³</b>
Trigo, milho	3 m²	7 m²	17 m²	330 m²
Batatas	3 m²	6 m²	15 m²	300 m²
Tomate	2 m²	5 m²	12 m²	240 m²
Pepino	6 m²	12 m²	30 m²	600 m²
Pimentão	2 m²	4 m²	10 m²	200 m²
Uvas (>10 t/ha)	5 m²	10 m²	25 m²	500 m²

Fonte: Adaptado de Klingel (2012)

Tabela 12 – Tempo de aplicação e dosagens de urina tratada para diferentes culturas.

<b>Cultura</b>	<b>Tempo de aplicação e dosagem</b>
Trigo, milho	100% antes de plantar
Batatas	100% antes de plantar
Tomate	20% antes de plantar, 27% em 3 vezes durante o período de crescimento
Pepino	Aplicar durante todo o período de crescimento, com doses iguais a cada duas semanas
Pimentão	33% antes de plantar, 67% restantes em 3 a 5 vezes até a frutificação
Uvas (>10 t/ha)	100% no final do inverno ou na primavera

Fonte: Adaptado de Klingel (2012)

Levando em consideração os períodos de aplicação para cada cultura e a necessidade de aplicação de todo o volume de urina (1098 litros) contido em um tanque logo após os 6 meses de estocagem, de forma que o mesmo seja esvaziado rapidamente e trocado com o outro tanque, propõe-se a construção de uma horta que cultive trigo, milho e batata, em cada propriedade familiar. Assim, possibilita-se a aplicação

de 100% do conteúdo de um tanque de uma só vez, em quantidades iguais, fertilizando o solo que receberá as culturas de trigo, milho e batata, logo antes de plantá-las.

De tal forma, considerando que serão aplicados em cada cultura volumes iguais a 366 L, visto que um terço de 1098 litros equivale este valor, é possível que cada propriedade familiar do Assentamento Rural Papuan II fertilize as seguintes áreas de culturas de trigo, milho e batata, indicadas abaixo na tabela 12:

Tabela 13 – Áreas de culturas de trigo, milho e batata que podem ser fertilizadas com o conteúdo de um tanque de estocagem de águas amarelas.

Cultura	Área a se fertilizar com 366 L de urina tratada			Produtividade estadual média
Trigo	124 m²		2,7 t/ha*	0,27 kg/m²
Milho	124 m²		8,1 t/ha**	0,81 kg/m²
Batatas	110 m²		15 t/ha***	1,5 kg/m²

\*EPAGRI (2017). \*\*EPAGRI (2018). \*\*\*Weber et al. (2015)

Cabe ressaltar que os valores da segunda coluna foram obtidos através da média ponderada dos valores constantes na tabela 10. Utilizando-se os valores da terceira coluna, referentes as produtividades médias estaduais de culturas de trigo, milho e batata, estimam-se ainda as quantidades possíveis de tais alimentos a serem produzidos por colheita, desconsiderando todas as questões práticas e condicionantes agrônômicas inerentes ao processo de cultivo agrícola. A conversão das produtividades estaduais médias de tonelada por hectare para quilogramas por metros quadrados se deu através da simples análise de unidades, visto que:

$$\frac{1 \text{ t}}{1 \text{ ha}} = \frac{1000 \text{ kg}}{10000 \text{ m}^2} = 0,1 \text{ kg/m}^2$$

Portanto, através do produto entre as áreas de trigo, milho e batata possíveis de serem fertilizadas com 366 L urina cada e as respectivas produtividades estaduais médias, em termos de kg/m<sup>2</sup>, tem-se que as quantidades estimadas de tais alimentos a serem produzidas, por colheita, em cada propriedade familiar do Assentamento Rural Papuan II são:

Tabela 14 - Estimativa da produção alimentar, por colheita, obtida através do reuso agrícola de 1098 L de urina tratada, em cada propriedade familiar do Assentamento Rural Papuan II.

<b>Cultura</b>	<b>Área a se fertilizar com 366 L de urina tratada</b>	<b>Produtividade estadual média</b>	<b>Produção alimentar estimada</b>
Trigo	124 m <sup>2</sup>	0,27 kg/m <sup>2</sup>	33,5 kg
Milho	124 m <sup>2</sup>	0,81 kg/m <sup>2</sup>	100,4 kg
Batatas	110 m <sup>2</sup>	1,5 kg/m <sup>2</sup>	165 kg

Deste modo, considerando que os tempos de colheita das culturas de trigo, milho e batatas sejam de aproximadamente 100 dias - conforme Silva et al. (1996) e EMBRAPA (2015) – é cabível assumir que por ano haverá no mínimo duas colheitas, com exceção do primeiro ano que não haverá colheita, cuja aplicação do biofertilizante se dará apenas ao final dos 12 meses iniciais, conforme já discorrido.

Sendo assim, são apresentadas na tabela 14 as estimativas de produção alimentar ao longo dos 10 anos de período de projeto, por propriedade familiar. Similarmente, a tabela 15 apresenta a produção alimentar estimada em todo o Assentamento Rural Papuan II, durante o horizonte de projeto.

Tabela 15 – Estimativas de produção alimentar por propriedade familiar, ao longo do horizonte de projeto.

<b>Produção alimentar anual estimada por propriedade familiar (2 colheitas por ano)</b>			
<b>Período de projeto</b>	<b>Trigo</b>	<b>Milho</b>	<b>Batata</b>
1º ano (não há colheita)	0	0	0
2º ao 10º ano	67 kg	200,8 kg	330 kg
Total	603 kg	1.807,2 kg	2.970 kg

Tabela 16 – Estimativas de produção alimentar no Assentamento Rural Papuan II, ao longo do horizonte de projeto.

<b>Produção alimentar anual estimada no Assentamento Rural Papuan II</b> <b>(2 colheitas por ano, 51 propriedades familiares)</b>				
<b>Período de projeto</b>	Trigo	Milho	Batata	Total
1º ano (não há colheita)	0	0	0	0
2º ao 10º ano (kg/ano)	3417	10.240,8	16.830	30.487,8
Total	30.753 kg	92.167,2 kg	151.470 kg	274.390,2 kg

Com base no exposto nas tabelas 14 e 15, mostra-se cristalino o potencial agrônomo que a utilização de urina tratada como biofertilizante detém. Através do reuso da urina gerada ao longo de um ano por uma família de 4 pessoas, é possível produzir mais de meia tonelada de alimentos (trigo, milho e batata), desde que observadas as boas práticas agrícolas, de modo que se obtenham produtividades equivalentes as médias estaduais apontadas.

Considerando ainda toda a área de estudo, ou seja, 51 propriedades familiares com média de 4 pessoas por família, estima-se que a produção alimentar anual resulte em aproximadamente 30,5 toneladas de alimentos. Utilizando-se dados obtidos em consulta a plataforma FAOSTAT da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, referentes ao consumo médio per capita anual de trigo, milho e batata no Brasil, calculam-se as quantidades de pessoas que podem ser alimentadas anualmente através da referida produção alimentar, conforme indicado na tabela 16. Cabe ressaltar que os valores da quarta coluna foram calculados através da simples divisão entre os respectivos valores da segunda coluna com os da terceira coluna.

Tabela 17 – População que pode ser alimentada anualmente por meio do cenário proposto no Assentamento Rural Papuan II.

<b>Cultura</b>	<b>Produção alimentar anual no Assentamento Rural Papuan II (kg/ano)</b>	<b>Consumo anual médio per capita (kg/hab.ano)</b>	<b>Número de pessoas que podem ser alimentadas por ano</b>
Trigo	3417	53*	64
Milho	10.240,8	28*	366
Batata	16.830	18*	935
	30.487,8		1.365 pessoas

\*FAO (2013).

Ressalta-se ainda que os valores médios de consumo per capita anual de tais alimentos referem-se, não somente aos alimentos *in natura*, mas também aos alimentos oriundos de todas vertentes de processamento industrial associadas. De tal modo, deve-se considerar que, para garantir a alimentação de todas a população indicada, as partes não comestíveis *in natura* devem ser submetidas a processamentos específicos.

Não obstante, conclui-se que o cenário de reuso de águas amarelas proposto a ser implantado no Assentamento Rural Papuan II produz quantidades de biofertilizantes suficientes para praticar o cultivo de trigo, milho e batata em hortas de até 360 m<sup>2</sup> por propriedade familiar, de forma que possibilite a produção anual de 30,5 toneladas de tais alimentos, capazes de alimentar até 1.365 pessoas por ano.

Portanto, além do expressivo potencial agrônômico que a urina tratada detém, conforme já demonstrado no presente estudo, destaca-se ainda a sua capacidade de atuação como uma ferramenta fundamental na luta contra a crise alimentar.

Ademais, faz-se importante ressaltar os benefícios associados à manutenção da qualidade do meio ambiente oriundos de práticas que contemplem a reutilização de excretas humanas, em específico a urina, de forma que se permita o estabelecimento de um fluxo cíclico de nutrientes, no qual os nutrientes retirados do solo através das práticas agrícolas e direcionadas aos meios urbanos em forma de alimentos, possam ser reintroduzidos ao ambiente, após sua ingestão e excreção, como elementos nutritivos, e não poluentes eutrofizantes de corpos hídricos.

#### **5.1.4. Recomendações gerais do reuso agrícola de águas amarelas no Assentamento Rural Papuan II**

Tendo em vista todas as peculiaridades associadas ao processo de reuso agrícola de águas amarelas, faz-se imprescindível ressaltar questões que permitem o manejo seguro do produto e sua aplicação eficiente, de forma que assegure a assimilação dos nutrientes pelas culturas agrícolas sem prejudicar o desenvolvimento destas, aproveitando ao máximo potencial agronômico da urina humana.

Deste modo, são apresentadas a seguir recomendações de segurança e de aplicação do biofertilizante nas culturas do Assentamento Rural Papuan II, as quais foram embasadas nas orientações de reuso agrícola de urina humana propostas por Klingel (2012) e Jönsson et al. (2004).

- Instruir e educar devidamente os usuários dos vasos separadores em relação à utilização correta destes, de modo a evitar contaminação cruzada com matérias fecais;
- Monitorar mensalmente os níveis dos tanques de estocagem de águas amarelas, de forma a antecipar possíveis extravasamentos e preparar-se para tomar medidas necessárias;
- Utilizar equipamentos protetores na aplicação do biofertilizante e manutenção dos tanques, como luvas, botas e roupas, de modo a evitar o contato direto com o produto;
- Manipular o biofertilizante somente após os 6 meses de estocagem, preferencialmente em recipientes fechados para minimizar as perdas por volatilização;
- Utilizar equipamento que permita a troca e o transporte facilitado dos tanques de estocagem, como um suporte com rodas que pode ser puxado por um trator ou cavalo;
- Homogeneizar bem os conteúdos dos tanques antes de coletar para aplicação, de forma que os precipitados ricos em nutrientes não permaneçam no fundo destes.
- Utilizar regadores de água para aplicações manuais localizadas e próximas ao solo, evitando-se esguichos e aplicações pressurizadas, pois tendem a formar aerossóis, aumentando as perdas de amônia;
- Aplicar no solo imediatamente antes de plantar as sementes de milho, trigo e batata, de forma homogênea;

- Em caso de aplicação em outros tipos de culturas, evitar o contato direto do biofertilizante com folhas e caules dos vegetais;
- Atentar-se às especificações de dosagens e períodos de aplicação referentes às respectivas culturas, de modo a não desperdiçar nutrientes e não ocasionar a salinização do solo;
- Empregar em conjunto boas práticas agrônômicas de manutenção do solo e irrigação das culturas, como a utilização das frações não aproveitáveis da colheita como forragens do solo, visto que estas contém parte dos nutrientes absorvidos pelas culturas e auxiliam no retorno destes ao solo.

Desde que seguidas tais recomendações, haverá minimização dos riscos à saúde decorrentes da ingestão dos alimentos cultivados com urina tratada e oriundos das atividades de manutenção e aplicação manual. Cumulativamente, as culturas produzirão alimentos em maiores quantidades e qualidades, ao passo que a manutenção da qualidade do solo será garantida.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A presente pesquisa buscou evidenciar os benefícios que a adoção de práticas de saneamento ecológico pode contribuir ao meio ambiente e à comunidade do Assentamento Rural Papuan II, em termos de reaproveitamento dos nutrientes contidos na urina humana com vistas à produção alimentar em hortas familiares.

A partir das tecnologias de tratamento de urina humana identificadas na revisão bibliográfica, considerou-se o processo de estocagem como o mais viável de ser implantado em localidades rurais que carecem de recursos financeiros e mão de obra especializada, em virtude da simplicidade operacional de tal alternativa, cujas demandas energéticas e de insumos químicos são nulas e os custos de implantação e operação mínimos.

Sob este prisma, propôs-se a implantação de um cenário de reuso de águas amarelas em cada uma das 51 propriedades familiares do Assentamento Rural Papuan II, de modo que toda urina gerada pelas famílias assentadas seja coletada por meio de vasos sanitários segregadores, tratada nos tanques de estocagem e reutilizada em culturas agrícolas locais como biofertilizante.

A partir do cenário de reuso de águas amarelas, cada propriedade familiar produz em torno de 1.098 litros de urina tratada por semestre,



com teores de nutrientes que a enquadram como um fertilizante líquido Classe D, conforme a IN 25/2009 MAPA, comparáveis com teores de diversos fertilizantes químicos industriais comercializados no país.

Embora as estimativas de recuperação semestral de nutrientes por família assentada não supra as demandas nutricionais para desenvolvimento propício das culturas de subsistência de feijão, diversas outras culturas podem ser cultivadas utilizando-se a urina tratada como biofertilizante, de modo a obter boas produtividades.

Neste sentido, pôde-se concluir que o cenário de reuso de águas amarelas proposto ao Assentamento Rural Papuan II produz quantidades de biofertilizantes suficientes para praticar o cultivo de trigo, milho e batata em hortas de até 360 m<sup>2</sup> com produções alimentares anuais de 67 kg, 200,8 kg e 330 kg, respectivamente, por propriedade familiar.

Em se tratando da produção alimentar anual conjunta de todas as 51 propriedades familiares do Assentamento Rural Papuan II, estima-se que o cenário de reuso de águas amarelas proposto possibilite a produção de 30,5 toneladas de alimentos (trigo, milho e batata), capazes de alimentar 1.365 pessoas por ano, aproximadamente.

Tais alimentos podem ser consumidos por toda a população do Assentamento Rural Papuan II e o restante doado para instituições de caridade responsáveis pela distribuição de alimentos para comunidades carentes e moradores de rua que convivem diariamente com a fome.

Portanto, além do expressivo potencial agrônômico que a urina tratada detém, destaca-se ainda a sua capacidade de atuação como uma ferramenta fundamental na luta contra a crise alimentar.

Ademais, tendo em vista as peculiaridades associadas ao processo de reuso agrícola de águas amarelas, faz-se imprescindível que sejam seguidas as orientações técnicas que garantam segurança e eficiência em todas as etapas do procedimento, de forma a assegurar o pleno benefício que tal prática confere ao solo e às culturas agrícolas, sem a imposição de riscos significativos à saúde humana e danos ao meio ambiente.

Em face ao exposto ao longo da presente pesquisa, salienta-se, por fim, o potencial que o cenário de reuso de águas amarelas proposto possui em atuar contra a fome local e na manutenção da qualidade do meio ambiente do Assentamento Rural Papuan II, possibilitando o estabelecimento de um fluxo cíclico sustentável de nutrientes entre o saneamento e a agricultura local, premissa básica do saneamento ecológico.

Não obstante, recomenda-se a elaboração de pesquisas adicionais e colaborativas entre os departamentos de engenharia sanitária e

ambiental, agronomia e nutrição da Universidade Federal de Santa Catarina, de forma que sejam avaliados na prática os cultivos de milho, trigo e batata, fertilizados com urina humana em ambiente controlado. Adicionalmente, podem-se avaliar os aspectos nutricionais dos alimentos produzidos a partir da fertilização com urina humana e compará-los com aspectos de alimentos cultivados a partir de fertilizantes industriais e sem qualquer fertilização.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas. Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. 2017. Disponível em <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 10 mar. 2018.

ANDREOZZI, R. et al. **Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment**. Chemosphere. 2003.

ANSEL, Howard C.; STOKLOSA, Mitchell J. **Cálculos Farmacêuticos-12**. Artmed Editora, 2008.

ANTONINI, S. et al. Nitrogen and phosphorus recovery from human urine by struvite precipitation and air stripping in Vietnam. *CLEAN–Soil, Air, Water*, v. 39, n. 12, p. 1099-1104, 2011.

ANTONINI, S. et al. Solar thermal evaporation of human urine for nitrogen and phosphorus recovery in Vietnam. **Science of the Total Environment**, v. 414, p. 592-599, 2012.

ASMUS, A. F. **Sistema para conservar o nitrogênio na urina visando o seu reuso como fertilizante**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009.

BEAL, C.; GARDNER, T.; AHMED, W.; WALTON, C.; HAMLYN-HARRIS, D. Closing the nutrient loop: A urine separation and reuse trial in the Currumbin Ecovillage, Qld. **Proceedings of AWA Conference, On Site 07**, Armidale, Setembro, 2007.

BELER-BAYKAL, B. et al. Removal of ammonium from human urine through ion exchange with clinoptilolite and its recovery for further reuse. **Water Science and Technology**, v. 50, n. 6, p. 149-156, 2004

BOTTO, M. P. **Utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia: caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

BUSER H.R.; Poiger T.; MÜLLER ,M.D. **Occurrence and fate of the pharmaceutical drug diclofenacin surface waters: rapid photodegradation in a lake.** Environmental Science Technology. 1998.

COHIM, E.; ASHER, K. **Produção Limpa e Eco-Saneamento. Prata da Casa: construindo produção Limpa na Bahia.** Teclim/ Universidade Federal da Bahia. 2008.

DOLL T.E.; FRIMMEL F.H. **Fate of pharmaceuticals — photodegradation by simulated solar UV-light.** Chemosphere. 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema de Produção de Batata. 2015.

Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132923/1/Sistema-de-Producao-da-Batata.pdf>>

Acesso em: 02 de junho de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. Boletim Agropecuário n. 54, CEPA. Santa Catarina. Novembro, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. Boletim Agropecuário n. 60, CEPA. Santa Catarina. Maio, 2018.

ESREY, S.A. Rethinking Sanitation: Panacea or Pandora's Box. In: Chorus I, Ringelband U, Schlag G e Schmoll O (eds), Water, Sanitation and Health, International Water Association, Londres, 2001.

ESREY, S.A. Towards a Recycling Society Ecological Sanitation - Closing the Loop to Food Security. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, out. 2000, Bonn. *Proceedings...* Bonn, Germany: GTZ/IWA 2000.

ETTER, B.; TILLEY, E.; KHADKA, R.; UDERT, K. M. Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal. **Water Research**, v. 45, n. 2, p. 852-862, 2011.

FEACHEM, R., BRADLEY, D., GARELICK, H., MARA, D., 1983. **Sanitation and disease health aspects of excreta and wastewater management**. World Bank Studies in Water Supply and Sanitation, 3. The World Bank, Washington, USA.

FITTSCHEN, I.; HAHN, H. H. Characterization of the municipal wastewater parameters human urine and preliminary comparison with liquid cattle excretion. **Water science technology**, Alemanha, v. 38, n. 6, p. 9-16, 1998.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Food balance sheets. FAOSTAT. 2013.

Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>>.

Acesso em: 02 de junho de 2018.

GANROT, Z. **Urine processing for efficient nutrient recovery and reuse in agriculture**. Tese de Doutorado. Göteborg: Göteborg University, 2005.

GANROT, Z.; DAVE, G.; NILSSON E. Recovery of N and P from human urine by freezing, struvite precipitation and adsorption to zeolite and active carbon. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 3112–21, 2007.

GULYAS, Holger; ZHANG, Shidong; OTTERPOHL, Ralf. Pretreating stored human urine for solar evaporation by low-technology ammonia stripping. 2014.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. Environmental indicators : a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington: World Resources Institute, 1995.

HELLSTRÖM, D.; JOHANSSON, E.; GRENNBERG, K. Storage of human urine: acidification as a method to inhibit decomposition of urea. **Ecological Engineering**, v. 12, p. 253–269. 1999.

HÖGLUND, C., ASHBOLT, N., STENSTROM, T.A., SVENSSON, L., Viral persistence in source-separated human urine. **Adv. Environmental Research**, v. 6, p. 265–275, 2002.

HÖGLUND, C. **Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source-separated human urine**. Royal Institute of Technology (KTH). Department of Biotechnology, Applied Microbiology. Stockholm, 2001.

IBAMA. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Avaliação de impacto ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas**. Brasília, DF, 1995. 132p.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária; MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Projetos de reforma agrária conforme fases de implementação**. 2018. Disponível em: <[http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/reforma-agraria/questao-agraria/reforma-agraria/projetos\\_criados-geral.pdf](http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/reforma-agraria/questao-agraria/reforma-agraria/projetos_criados-geral.pdf)>. Acesso em: 10 de abril de 2018.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Notícias. 2015. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/noticias/incra-apresenta-dados-sobre-assentamentos-na-camara-de-abelardo-luzsc>>. Acesso em: 10 de abril de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E TECNOLOGIA – Atlas do Saneamento. 2011.

JOHANSSON, M.; JÖNSSON, H.; HÖGLUND, C.; RICHERT-STINTZING, A.; RODHE, L. **Urine separation: closing the nutrient cycle**. Stockholm Vatten, Stockholmshem. Estocolmo, 2000.

JOHANSSON, M.; JÖNSSON, H.; HÖGLUND, C.; STINTZING, A. R.; RODHE, L. **Urine separation – closing the nutrient cycle**. Stockholm Water Company. Estocolmo, Suécia, 2001.

JÖNSSON, H. *et al.* **Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production**. EcoSanRes Report 2004-2. Stockholm Environmental Institution: Estocolmo, Suécia, 2004.

JÖNSSON, H.; VINNERÅS, B. **Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data**.

In: Ecosan – Closing the loop. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, Lübeck, Alemanha, 2004.

KIRCHMANN, H.; PETTERSSON, S. Human urine - Chemical composition and fertilizer use efficiency. *Fertilizer Research*, v. 40, p. 149-154. 1995.

KLINGEL, F. **Guideline for Use of Products from Institutional Ecosan Toilets for Crop Cultivation in Moldova**. Apasan, Moldávia, 2012.

KROH, W. Keynote addresses: Sustainable water management – a global challenge for the 21st century. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION, out. 2000, Bonn. *Proceedings...* Bonn, Alemanha: GTZ/IWA 2000.

KUNTKE, P.; ŚMIECH, K. M.; BRUNING, H.; ZEEMAN, G.; SAAKES, M.; SLEUTELS, T. H.; HAMELERS, H. V.; BUISMAN, C. J. Ammonium recovery and energy production from urine by a microbial fuel cell, **Water Research**, v. 46, p. 2627-2636, 2012.

KVARNSTRÖM, E.; EMILSSON, K.; STINTZING, A.R.; JOHANSSON, M.; JÖNSSON, H.; PETERSENS, E.; SCHÖNNING, C.; CHRISTENSEN, J.; HELLSTRÖM, D.; QVARNSTRÖM, L.; RIDDERSTOLPE, P.; DRANGERT, J. **Separação de urina: Um passo em direção ao saneamento sustentável**. Programa EcoSanRes. Stockholm Environmental Institute – SEI, Suécia, 2006.

LIND, B-B., BAN, Z.; BYDÉN S. Nutrient recovery from human urine by struvite crystallization with ammonia adsorption on zeolite and wollastonite. **Bioresource Technology**, 73, p. 169 -174, 2000.

LIND, B.; BAN, Z.; BYDÉN, S. Volume reduction and concentration of nutrients in human urine. **Ecological Engineering**, Suécia, v. 16, n. 4, 2001.

LIU, B. et al. Air stripping process for ammonia recovery from source-separated urine: modeling and optimization. **Journal of chemical technology and biotechnology**, v. 90, n. 12, p. 2208-2217, 2015.

MAGRI, M.E. **Aplicação de processos de estabilização e higienização de fezes e urina humanas em banheiros secos segregadores**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

MEINZINGER, F.; OLDENBURG, M. Characteristics of source-separated household wastewater flows – a statistical assessment. In: SANITATION CHALLENGE CONFERENCE, Maio 19 – 21, 2008, Wageningen, The Netherlands. **Proceedings**. Wageningen, The Netherlands. 2008.

MASSOUD, M.; TARHINI, A.; NASR, J. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. 2009. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 652-659.

MAURER, M.; PRONK, W.; LARSEN, T.A. Treatment processes for source-separated urine. **Water Research**, v. 40, p. 3151 – 3166, 2006.

MORGAN, P. **Experiments using urine and humus derived from ecological toilets as a source of nutrients for growing crops**. In: Fórum Mundial da Água, mar. 2000.

OTTERPOHL, R; BRAUN, U; OLDENBURG, M. Innovative technologies for decentralized water, wastewater and biowaste management in urban and periurban areas. **Water Science and Technology**, Vol. 48, nº.11-12, p. 23-32, 2003.

PARASKEVAS, P.A.; GIOKAS, D.L.; LEKKAS, T.D. Wastewater management in coastal urban areas: the case of Greece. **Water Science and Technology**, v. 46, n. 8, p. 177–186, 2002.

PERDICOÚLIS, A.; GLASSON, J. The causality premise of EIA in practice. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 27, n. 3, p. 247-250, 2009.

PHILIPPI, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. São Paulo: Ed. Manole, 2007.



PREFEITURA MUNICIPAL DE ABELARDO LUZ-SC. Economia. 2013. Disponível em: <http://abelardoluz.sc.gov.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/47291>>. Acesso em 10 de abril de 2018.

PRONK, W.; KONÉ, D. Options for Urine Treatment in the Developing Countries. **Desalination**, v. 248, n. 1-3, p. 360-368, 2009.

RIOS, E.C.; de FREITAS, L. T.; ZANCHETA, P. G.; da COSTA, A. N.; GONÇALVES, R. F. Utilização de Aguas Amarelas como Fertilizante Natural no Cultivo Agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24.. 2007, ABES. **Anais...** Belo Horizonte – MG, Brasil. 2007.

RONTELTAP, M.; MAURER, M.; GUJERA, W. Struvite precipitation thermodynamics in source-separated urine. **Water Research**, v. 41, n. 5, p. 977-984, 2007.

SCHÖNNING, C. **Hygienic aspects on the reuse of source separated human urine**. In: NJF Seminar, n. 327, Copenhagen, 2001.

SCHÖNNING, C.; LEEMING, R.; STENSTRÖM, T.A. Faecal contamination of source-separated human urine based on the content of faecal sterols. **Water Research**, v. 36, p. 1965–72. 2002.

SCHÖNNING, C., STENSTRÖM, T. A. **Guidelines for the safe use of urine and faeces in ecological sanitation systems**. EcoSanRes report 2004-1, Stockholm Environment Institute: Estocolmo, Suécia. 2004.

SENECAL, J.; VINNERÅS, B. Urea stabilisation and concentration for urine-diverting dry toilets: Urine dehydration in ash. **Science of The Total Environment**, v. 586, p. 650-657, 2017.

SESSI, C. C. **Propostas de Manejo para as classes de solos dos assentamentos José Maria e Papuan II do Município de Abelardo Luz**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SIMHA, P.; ZABANIOTOU, A.; GANESAPILLAI, M. Continuous urea–nitrogen recycling from human urine: A step towards creating a

human excreta based bio-economy. **Journal of Cleaner Production**, 2017.

SILVA, A.F.; PINTO, J.M.; FRANÇA, C.R.R.; FERNANDES, C.; GOMES, T.C.A.; SILVA, M.S.L.; MATOS, A.N.B. Comunicado técnico Embrapa: Preparo e Uso de Biofertilizantes Líquidos. 2007. 4p.

SILVA, D.B. da; GUERRA, A.F.; REIN, T.A.; ANJOS, J. de R.N. dos; ALVES, R.T.; RODRIGUES, G.C.; SILVA, I.A.C. e. **Trigo para o abastecimento familiar: do plantio à mesa**. EMBRAPA - Serviço de produção de informação. Brasília, 1996.

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Ministério das Cidades. 2010.

SOUZA, C.R. **Avaliação de remoção da amoxicilina e cefalexina da urina humana por oxidação avançada com vistas ao saneamento ecológico**. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

STEINFELD, C.; DEL PORTO D. **Reusing the resource: Adventures in ecological wastewater recycling**. EcoWaters. 2007.

STRAUSS, M. **Human Waste (Excreta and Wastewater) Reuse**. EAWAG/SANDEC, Duebendorf, Switzerland. 2000.

SUNDIN, A. **Humane urine improves the growth of Swiss chard and soil fertility in Ethiopian urban agriculture**. Universidade Sueca de Ciências Agronômicas, Suécia. 1999.

UDERT, K. M.; LARSEN, T. A.; GUJER, W. Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. **Water Research**. v. 37, p. 2667–2677, 2003.

VINNERÅS, B.; JÖNSSON, H. The performance and potential of faecal separation and urine diversion to recycle plant nutrients in household wastewater. **Bioresource Technology**, 84 p. 275 – 282. 2002.

VINNERÅS B.; NORDIN, A.; NIWAGABA, C.; NYBERG, K. Inactivation of bacteria and viruses in human urine depending on temperature and dilution rate. **Water Research** v. 42, p. 4067–74, 2008.

von MÜNCH, E.; WINKER, M. **Technology Review - Urine diversion components: Overview of urine diversion components such as waterless urinals, urine diversion toilets, urine storage and reuse systems.** 2009.

WEBER, F.; VITORIA, G; SALVADOR, R.; LOPES, H.J.; STURMER, S.L.K.; VALICHESKI, R.R. **Produtividade da batata, variedade Asterix, em resposta a diferentes doses de nitrogênio na região do Alto Vale do Itajaí.** Instituto Federal Catarinense. Santa Catarina, Rio do Sul. 2015.

WERNER, C.; BRACKEN, P.; MANG, H.P.; KLINGEL F. Ecological Sanitation – Principles and Technologies. GTZ, Eschborn, Alemanha, 2004.

WERNER, C.; PANESAR, A.; RÜD, S.B.; OLT, C.U. Ecological sanitation: Principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management. 2009. **Desalination**, v. 248, p. 392-401.

WOLGAST, M. R. **Clean Waters Thoughts about recirculation.** Uppsala, Creamon 1993.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater - Volume I: Policy And Regulatory Aspects.** World Health Organization (WHO), Genebra, Suíça, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Health impact of climate change needs attention. 2009. Media Centre.

WORLD HEALTH ORGANIZATION AND UNITED NATIONS CHILDREN’S FUND – WHO/UNICEF. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation (JMP). Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation. UNICEF, New York and WHO, Geneva, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Millennium Development Goals: progress towards the health-related Millennium Development Goals. Fact sheet n° 290, 2011.

ZANCHETA, P. G. **Recuperação e Tratamento da Urina Humana Para Uso Agrícola**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2007.

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Árvore do conhecimento: milho verde. Disponível em:

<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnk02wx5ok0pvo4k3c1v9rbg.html>> Acesso em: 02 jun. de 2018.

IBGE. Panorama do município de Abelardo Luz. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/abelardo-luz/panorama>>.

Acesso em: 15 mar. de 2018.

Produção de fertilizantes orgânicos Fish Fértil K, disponível em: <[www.fishfertil.com.br](http://www.fishfertil.com.br)>. Acesso em: 31 maio de 2018.